

EXPRESS MAIL NO. EV 327 133 471 US

DATE OF DEPOSIT 8/6/03

Our File No. 9281-4617

Client No. N US02032

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of: )  
Naoya Hasegawa )  
Serial No. To be Assigned )  
Filing Date: Herewith )  
For Giant Magnetoresistive Element )

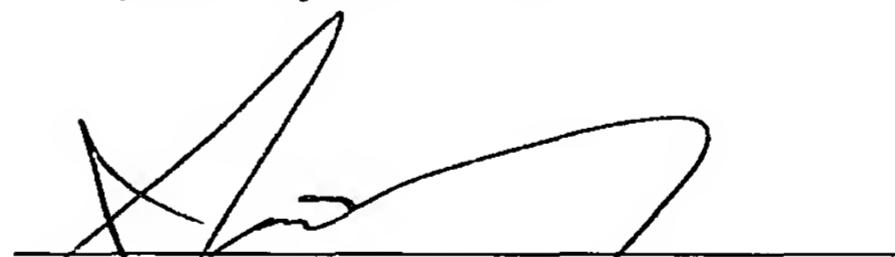
**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop Patent Application  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of priority document Japanese Patent Application No. 2002-238319, filed August 19, 2002 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,



Gustavo Siller, Jr.  
Registration No. 32,305  
Attorney for Applicant

BRINKS HOFER GILSON & LIONE  
P.O. BOX 10395  
CHICAGO, ILLINOIS 60610  
(312) 321-4200

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 8月19日

出願番号

Application Number:

特願2002-238319

[ST.10/C]:

[JP2002-238319]

出願人

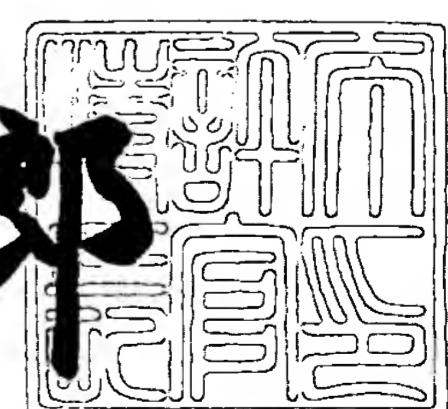
Applicant(s):

アルプス電気株式会社

2003年 3月24日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3019618

【書類名】 特許願

【整理番号】 P4889

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 43/08  
G11B 5/39

【発明の名称】 巨大磁気抵抗効果素子及びその製造方法

【請求項の数】 36

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

【氏名】 長谷川 直也

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100083286

【弁理士】

【氏名又は名称】 三浦 邦夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001971

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0113245

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 巨大磁気抵抗効果素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1反強磁性層；

前記第1反強磁性層上に形成され、該第1反強磁性層との交換結合磁界により  
磁化方向が固定された固定磁性層；

前記固定磁性層上に形成された非磁性材料層；

前記非磁性材料層上に形成され、外部磁界に応じて中央部の磁化方向が変化す  
るフリー磁性層；

前記フリー磁性層のトラック幅方向の両側端部上に形成された非磁性層；

前記非磁性層上に形成された強磁性層；及び

前記強磁性層上に形成され、該強磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方  
向に直交する方向へ揃える第2反強磁性層を備え、

前記非磁性層を介して前記フリー磁性層と前記強磁性層の磁化方向が反平行を  
なし、少なくとも前記フリー磁性層、前記非磁性層及び前記強磁性層のトラック  
幅方向の両側端面が連続面をなしていることを特徴とする巨大磁気抵抗効果素子  
。

【請求項2】 請求項1記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記フリー  
磁性層のトラック幅方向の寸法FWと前記強磁性層の同方向の寸法FLとの比（  
FW/FL）が1.1以上2.0以下であることを特徴とする巨大磁気抵抗効果  
素子。

【請求項3】 請求項1又は2記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記  
第2反強磁性層上及び少なくとも前記第2反強磁性層から前記固定磁性層までの  
各層のトラック幅方向の両側端面に接して形成された電極層を備えた巨大磁気抵  
抗効果素子。

【請求項4】 請求項3記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記電極層  
は、少なくとも前記第2反強磁性層から前記固定磁性層までの各層のトラック幅  
方向の両側端面に接して形成された第1電極層と、この第1電極層及び前記第2  
反強磁性層上に形成された第2電極層とを備えた巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 請求項1ないし4のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記第2反強磁性層は、前記強磁性層上に積層された下部反強磁性層と上部反強磁性層を有し、該下部反強磁性層の膜厚が20Å以上50Å以下である巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 請求項5記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記下部反強磁性層と前記上部反強磁性層の合計膜厚が80Å以上300Å以下である巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 請求項5又は6記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記下部反強磁性層と前記上部反強磁性層との間には非磁性保護層が介在しており、該非磁性保護層の膜厚は3Å以下である巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 請求項7記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記非磁性保護層を構成する元素が前記上部反強磁性層または前記下部反強磁性層の内部に混在している巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 請求項7または8記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記非磁性保護層または非磁性保護層を構成する元素は、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのいずれか1種または2種以上である巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項10】 請求項1ないし9のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記フリー磁性層及び前記強磁性層がNiFe合金、Co、CoFe合金、CoNi合金及びCoFeNi合金のいずれかで形成されている巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項11】 請求項1ないし10のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記フリー磁性層及び前記強磁性層が同一の磁性材料で形成され、前記強磁性層の膜厚が前記フリー磁性層よりも薄い巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項12】 請求項1ないし10のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記フリー磁性層及び前記強磁性層がそれぞれ単層で形成され、該フリー磁性層及び強磁性層のうち少なくとも一方がCoFeNi合金で形成されている巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項13】 請求項1ないし10のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記フリー磁性層がNiFe合金層とCoFe合金層とからなる積層体で形成され、前記強磁性層がCoFe合金層とNiFe合金層とからなる積層体で形成されている巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項14】 請求項1ないし13のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記非磁性層は、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのうちいずれか1種又は2種以上で形成されている巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項15】 請求項1ないし14のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記第1反強磁性層及び／又は前記第2反強磁性層は、PtMn合金、X-Mn（ただし、XはPd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金、又はPt-Mn-X'（ただし、X'はPd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金で形成されている巨大磁気抵抗効果素子。

【請求項16】 (a) 基板上に、第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層及び非磁性層を順次積層する工程；

(b) 第1の熱処理を行ない、前記第1反強磁性層と前記固定磁性層の間に交換結合磁界を生じさせて該固定磁性層の磁化方向を固定する工程；

(c) 低エネルギーイオンミリングにより前記非磁性層の表面クリーニングを行なう工程；

(d) 前記非磁性層上に強磁性層及び第2反強磁性層を順次積層する工程；

(e) 前記第2反強磁性層上に、トラック幅領域に対応する範囲に位置させてレジスト層を形成する工程；

(f) 少なくとも前記第2反強磁性層、前記強磁性層、前記非磁性層及び前記フリー磁性層の、前記レジスト層のトラック幅方向の両側から露出する部分を除去する工程；

(g) 前記レジスト層を除去し、前記第2反強磁性層上のトラック幅領域外に電極層を形成する工程；

(h) 前記電極層をマスクとしてエッティングを行ない、トラック幅領域内の前記第2反強磁性層、前記強磁性層及び前記非磁性層の一部を除去する工程；及び

(i) 第2の熱処理を行ない、前記第2反強磁性層と前記強磁性層の間に交換結合を生じさせて該強磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に直交する方向へ固定する工程；を有し、

前記(a)及び前記(d)工程では、前記フリー磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントが前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントよりも大きくなるように前記フリー磁性層及び前記強磁性層を形成し、

前記(c)工程では、前記低イオンエネルギーミリングにより、前記非磁性層を、前記フリー磁性層と強磁性層との間に生じるRKKY的な結合エネルギーが反平行の第1ピーク値又は第2ピーク値となる膜厚まで削り、

前記(f)工程では、少なくとも前記第2反強磁性層から前記フリー磁性層までの各層のトラック幅方向の両側端面を連続面とすることを特徴とする巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

**【請求項17】** 請求項16記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記フリー磁性層のトラック幅方向の寸法FWと前記強磁性層の同方向の寸法FLとの比(FW/FL)を1.1以上2.0以下にする巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

**【請求項18】** 請求項16または17記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記(g)工程に替えて、(j)少なくとも前記第2反強磁性層から前記固定磁性層までの各層のトラック幅方向の両側端面に接触させて第1電極層を形成する工程と、(k)レジスト層を除去する工程と、(l)前記第1電極層上及び前記第2反強磁性層のトラック幅領域外上に第2電極層を形成する工程とを有する巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

**【請求項19】** 請求項16ないし18のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記フリー磁性層及び前記強磁性層をNiFe合金、Co、CoFe合金、CoNi合金及びCoFeNi合金のいずれかで形成する巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

**【請求項20】** 請求項16ないし19のいずれか一項に記載の巨大磁気抵

抗効果素子の製造方法において、前記フリー磁性層及び前記強磁性層を同一の磁性材料で形成し、前記強磁性層を前記フリー磁性層よりも薄い膜厚で形成する巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項21】 請求項16ないし19のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記フリー磁性層及び前記強磁性層をそれぞれ単層で形成し、該フリー磁性層及び強磁性層のうち少なくとも一方をCoFeNi合金で形成する巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項22】 請求項16ないし19のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記フリー磁性層がNiFe合金層とCoFe合金層とからなる積層体で形成され、前記強磁性層がCoFe合金層とNiFe合金層とからなる積層体で形成されている巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項23】 請求項16ないし22のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記非磁性層は、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのうちいずれか1種又は2種以上で形成されている巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項24】 請求項16ないし23のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記第1反強磁性層及び／又は前記第2反強磁性層は、PtMn合金、X-Mn（ただし、XはPd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金、又はPt-Mn-X'（ただし、X'はPd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金で形成されている巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項25】 (m) 基板上に、第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層、非磁性層、強磁性層、下部反強磁性層及び非磁性保護層を順次積層する工程；

(n) 第1の熱処理を行ない、前記第1反強磁性層と前記固定磁性層の間に交換結合磁界を生じさせて該固定磁性層の磁化方向を固定する工程；

(o) 低エネルギーイオンミリングにより前記非磁性保護層の表面クリーニングを行なう工程；

- (p) 前記非磁性保護層上に上部反強磁性層を積層する工程；
- (r) 前記上部反強磁性層上に、トラック幅領域に対応する範囲に位置させてレジスト層を形成する工程；
- (s) 少なくとも前記上部反強磁性層、前記非磁性保護層、前記下部反強磁性層、前記強磁性層、前記非磁性層及び前記フリー磁性層の、前記レジスト層のトラック幅方向の両側から露出する部分を除去する工程；
- (t) 前記レジスト層を除去し、前記上部反強磁性層上のトラック幅領域外に電極層を形成する工程；
- (u) 前記電極層をマスクとしてエッチングを行ない、トラック幅領域内の前記上部反強磁性層、前記非磁性保護層、前記下部反強磁性層、前記強磁性層及び前記非磁性層の一部を除去する工程；及び
- (v) 第2の熱処理を行ない、前記下部反強磁性層と前記強磁性層との間に交換結合を生じさせて該強磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に直交する方向へ固定する工程；を有し、

前記(m)工程では、前記フリー磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントが前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントよりも大きくなるように前記フリー磁性層及び前記強磁性層を形成し、且つ、前記非磁性層を前記フリー磁性層と前記強磁性層との間に生じるRKKY的な結合エネルギーが反平行の第1ピーク値又は第2ピーク値となる膜厚で形成し、

前記(s)工程では、少なくとも前記上部反強磁性層から前記フリー磁性層までの各層のトラック幅方向の両側端面を連続面とすることを特徴とする巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項26】 請求項25記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記フリー磁性層のトラック幅方向の寸法FWと前記強磁性層の同方向の寸法FLとの比(FW/FL)を1.1以上2.0以下にする巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項27】 請求項25又は26記載の巨大磁気抵抗効果素子において、前記(m)工程では、前記下部反強磁性層を20Å以上50Å以下の膜厚で成膜すると共に前記非磁性保護層を3Å以上10Å以下の膜厚で成膜し、前記(o)

) 工程では、前記非磁性保護層を該膜厚が3Å以下となるまで削る巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項28】 請求項25ないし27のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記下部反強磁性層と前記上部反強磁性層の合計膜厚を80Å以上300Å以下に形成する巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項29】 請求項25ないし28のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記(t)工程に替えて、(w)少なくとも前記第2反強磁性層から前記固定磁性層までの各層のトラック幅方向の両側端面に接触させて第1電極層を形成する工程と、(x)レジスト層を除去する工程と、

(y)前記第1電極層上及び前記上部反強磁性層のトラック幅領域外上に第2電極層を形成する工程とを有する巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項30】 請求項25ないし29のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記非磁性保護層をRu、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのいずれか1種または2種以上から形成する巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項31】 請求項25ないし30のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記フリー磁性層及び前記強磁性層をNiFe合金、Co、CoFe合金、CoNi合金及びCoFeNi合金のいずれかで形成する巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項32】 請求項25ないし31のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記フリー磁性層及び前記強磁性層を同一の磁性材料で形成し、前記強磁性層を前記フリー磁性層よりも薄い膜厚で形成する巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項33】 請求項25ないし31のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記フリー磁性層及び前記強磁性層をそれぞれ単層で形成し、該フリー磁性層及び強磁性層のうち少なくとも一方をCoFeNi合金で形成する巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項34】 請求項25ないし31のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記フリー磁性層がNiFe合金層とCoFe

合金層とからなる積層体で形成され、前記強磁性層がCoFe合金層とNiFe合金層とからなる積層体で形成されている巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項35】 請求項25ないし34のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記非磁性層は、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのうちいずれか1種又は2種以上で形成されている巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【請求項36】 請求項25ないし34のいずれか一項に記載の巨大磁気抵抗効果素子の製造方法において、前記第1反強磁性層及び／又は前記第2反強磁性層は、PtMn合金、X-Mn（ただし、XはPd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金、又はPt-Mn-X'（ただし、X'はPd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金で形成されている巨大磁気抵抗効果素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の技術分野】

本発明は、ハードディスク装置や磁気センサ等に用いられる巨大磁気抵抗効果素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来技術およびその問題点】

ハードディスク装置や磁気センサ等に用いられる巨大磁気抵抗効果（GMR）素子では、近年の高記録密度化に伴い、高出力感度化及び狭トラック化が進められている。

【0003】

出力感度を向上させるために従来では、フリー磁性層の膜厚を薄くすることで、フリー磁性層の単位面積あたりの磁気モーメント（Areal moment）を小さくし、該磁気モーメントの磁化回転を容易にしている。しかし、フリー磁性層の膜厚が薄くなると、バルクハウゼンノイズや熱ゆらぎノイズ等が増大す

る結果、出力感度は上がってもSN比を上げられないという弊害が生じてしまう。また従来では、フリー磁性層のバイアス方式として永久磁石膜によるハードバイアス方式が用いられているが、ハードバイアス方式では永久磁石膜に隣接するフリー磁性層の両側端部が強固に磁化固定されるため不感領域が生じ、狭トラック化が進められるとトラック幅領域全域が不感領域となってしまう虞がある。このため、永久磁石膜によるハードバイアス方式では、高記録密度化への適応が難しいと予測されている。

#### 【0004】

そこで、最近では、フリー磁性層のバイアス方式にエクスチェンジバイアス方式を採用することが提案されている。周知のようにGMR素子は、第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層とを順に積層形成した構造を有するもので、エクスチェンジバイアス方式を適用した場合には、さらにフリー磁性層の両側端部上に第2反強磁性層及び電極層が積層形成され、第2反強磁性層のトラック幅方向の間隔によりGMR素子のトラック幅が規制される。このエクスチェンジバイアス方式を用いれば、不感領域がなくなり、狭トラック化が進められても出力感度を良好に確保することができると考えられている。

#### 【0005】

しかしながら、フリー磁性層内部の隣接するスピニン間には、該隣接するスピニンの向きを平行にしようとする交換相互作用が働いており、スピニンが外部磁界の強さに応じた角度だけ回転するためには、該隣接スピニン間に生じた交換相互作用の強さに応じた距離を要する。この交換相互作用の強さは交換スティフェス定数（交換相互作用定数）によって表すことができ、交換スティフェス定数が大きくなるほど、スピニンが急激に向きを変えることができず、スピニンの回転に要する距離が長くなる。このようにスピニンの回転に要する距離が長くなると、トラック幅領域端部での磁化固定が中央部まで強く媒介される結果、出力感度が低下してしまう。この傾向はトラック幅寸法が短くなるほど顕著になり、エクスチェンジバイアス方式を用いていても出力感度を良好に確保することが難しい。この改善策としては交換スティフェス定数の小さい材料によってフリー磁性層を形成することが考えられるが、交換スティフェス定数の小さい材料を用いるとキュリー温度が

低くなってしまうため好ましくない。また、材料の選定だけでは限界がある。

#### 【0006】

さらに、エクスチェンジバイアス方式を用いた場合には、以下の問題がある。すなわち、電極層よりも極端に比抵抗の大きい反強磁性層を介してセンス電流がフリー磁性層に流れるため、素子抵抗が大きくなってしまう。素子抵抗が大きくなると、インピーダンスも大きくなるため高周波ノイズが発生しやすく、出力感度が向上してもS/N比をあげることができない。

#### 【0007】

##### 【発明の目的】

本発明は、従来におけるエクスチェンジバイアス方式を用いた際の問題意識に基づき、狭トラック化が進められても出力感度を良好に確保できる巨大磁気抵抗効果素子及びその製造方法を得ることを目的とする。また本発明は、素子抵抗を低減可能な巨大磁気抵抗効果素子及びその製造方法を得ることを目的とする。

#### 【0008】

##### 【発明の概要】

本発明は、フリー磁性層のトラック幅方向に生じる反磁界を利用すれば出力感度を高められること、及び、反強磁性層を介さずにセンス電流を供給すれば素子抵抗を低減できることに着目してなされたものである。

#### 【0009】

本発明は、第1反強磁性層；前記第1反強磁性層上に形成され、該第1反強磁性層との交換結合磁界により磁化方向が固定された固定磁性層；前記固定磁性層上に形成された非磁性材料層；前記非磁性材料層上に形成され、外部磁界に応じて中央部の磁化方向が変化するフリー磁性層；前記フリー磁性層のトラック幅方向の両側端部上に形成された非磁性層；前記非磁性層上に形成された強磁性層；及び前記強磁性層上に形成され、該強磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に直交する方向へ揃える第2反強磁性層を備え、前記非磁性層を介して前記フリー磁性層と強磁性層の磁化方向が反平行をなし、少なくとも前記フリー磁性層、前記非磁性層及び前記強磁性層のトラック幅方向の両側端面が連続面をなしていることを特徴としている。

## 【0010】

上記構成によれば、フリー磁性層及び強磁性層の両側端面で両層間に静磁結合が生じ、この静磁結合によりフリー磁性層のトラック幅方向に加わる反磁界が弱められる。すなわち、狭トラック化により反磁界が増大しても、フリー磁性層及び強磁性層の磁化の乱れを良好に抑制でき、再生波形の安定性を良好に確保することができる。また、フリー磁性層の両側端部及び強磁性層の磁化方向が第2反強磁性層により強固に固定されているため、狭トラック化により反磁界が増大してもサイドリーディングの発生する虞がない。

## 【0011】

フリー磁性層のトラック幅方向の寸法FWと強磁性層のトラック幅方向の寸法FLは、その比FW/FLが1.1以上2.0以下であることが好ましい。上記範囲内であれば、トラック幅領域（フリー磁性層の中央部）の磁化を外部磁界に対して回転し易くすることができ、出力感度が向上する。なお、強磁性層のトラック幅方向の寸法FLは、各強磁性層のトラック幅方向の寸法FL1、FL2の合計寸法FL1+FL2とする。

## 【0012】

以上の巨大磁気抵抗効果素子は、第2反強磁性層上及び該第2反強磁性層から固定磁性層までの各層のトラック幅方向の両側端面に接して形成された電極層を備えることが好ましい。この電極層は、固定磁性層から第2反強磁性層までの各層のトラック幅方向の両側端面に接して形成された第1電極層と、この第1電極層及び第2反強磁性層上に形成された第2電極層とから形成することができる。これらの構成によれば、電極層を形成する導電材料よりも比抵抗が極端に大きい第2反強磁性層を介さずに、センス電流を供給することができる。よって、素子抵抗を良好に抑制することができ、この結果、高周波ノイズの発生が抑えられてS/N比が向上する。

## 【0013】

第2反強磁性層は、強磁性層上に積層された下部反強磁性層と上部反強磁性層から形成することができる。この場合、下部反強磁性層は、20Å以上50Å以下の膜厚であることが好ましい。この範囲内で下部反強磁性層が形成されれば、

該下部反強磁性層のみが成膜された段階（上部反強磁性層が形成されていない状態）で、下部反強磁性層は反強磁性特性を有さない。よって、固定磁性層の磁化方向を固定するための第1の熱処理を行っても、下部反強磁性層と強磁性層との間に交換結合磁界が生じることがない。あるいは生じても弱い。これに対し、下部反強磁性層上に上部反強磁性層が形成されている状態では、熱処理によって強磁性層と下部反強磁性層との間に大きな交換結合磁界を生じさせるため、下部反強磁性層と上部反強磁性層の合計膜厚が80Å以上300Å以下であることが好ましい。

## 【0014】

下部反強磁性層と上部反強磁性層との間には、非磁性保護層が介在していてよい。あるいは、非磁性保護層を構成する元素が下部反強磁性層または上部反強磁性層の内部に混在していてよい。ただし、非磁性保護層の膜厚は、下部反強磁性層と上部反強磁性層とが一体の反強磁性層として機能できるように、3Å以下であることが好ましい。非磁性保護層または非磁性保護層を構成する元素は、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのいずれか1種または2種以上であることが好ましい。なお、上記非磁性保護層は、製造工程中に下部反強磁性層の表面が酸化されないように保護する酸化防止層として機能する。

## 【0015】

本発明による巨大磁気抵抗効果素子の製造方法は、第1の態様では、（a）基板上に、第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層及び非磁性層を順次積層する工程；（b）第1の熱処理を行ない、前記第1反強磁性層と前記固定磁性層の間に交換結合磁界を生じさせて該固定磁性層の磁化方向を固定する工程；（c）低エネルギーイオンミリングにより前記非磁性層の表面クリーニングを行なう工程；（d）前記非磁性層上に強磁性層及び第2反強磁性層を順次積層する工程；（e）前記第2反強磁性層上に、トラック幅領域に対応する範囲に位置させてレジスト層を形成する工程；（f）少なくとも前記第2反強磁性層、前記強磁性層、前記非磁性層及び前記フリー磁性層の、前記レジスト層のトラック幅方向の両側から露出する部分を除去する工程；（g）前記レジスト層を除

去し、前記第2反強磁性層上のトラック幅領域外に電極層を形成する工程；（h）前記電極層をマスクとしてエッティングを行ない、トラック幅領域内の前記第2反強磁性層、前記強磁性層及び前記非磁性層の一部を除去する工程；及び（i）第2の熱処理を行ない、前記第2反強磁性層と前記強磁性層の間に交換結合を生じさせて該強磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に直交する方向へ固定する工程；を有し、前記（a）及び前記（d）工程では、前記フリー磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントが前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントよりも大きくなるように前記フリー磁性層及び前記強磁性層を形成し、前記（c）工程では、前記低イオンエネルギーミリングにより、前記非磁性層を、前記フリー磁性層と前記強磁性層との間に生じるRKKY的な結合エネルギーが反平行の第1ピーク値又は第2ピーク値となる膜厚まで削り、前記（f）工程では、前記第2反強磁性層から前記フリー磁性層までの各層のトラック幅方向の両側端面を連続面とすることを特徴としている。

## 【0016】

また本発明の第2の態様では、（m）基板上に、第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層、フリー磁性層、非磁性層、強磁性層、下部反強磁性層及び非磁性保護層を順次積層する工程；（n）第1の熱処理を行ない、前記第1反強磁性層と前記固定磁性層の間に交換結合磁界を生じさせて該固定磁性層の磁化方向を固定する工程；（o）低エネルギーイオンミリングにより前記非磁性保護層の表面クリーニングを行なう工程；（p）前記非磁性保護層上に上部反強磁性層を積層する工程；（r）前記上部反強磁性層上に、トラック幅領域に対応する範囲に位置させてレジスト層を形成する工程；（s）少なくとも前記上部反強磁性層、前記非磁性保護層、前記下部反強磁性層、前記強磁性層、前記非磁性層及び前記フリー磁性層の、前記レジスト層のトラック幅方向の両側から露出する部分を除去する工程；（t）前記レジスト層を除去し、前記上部反強磁性層上のトラック幅領域外に電極層を形成する工程；（u）前記電極層をマスクとしてエッティングを行ない、トラック幅領域内の前記上部反強磁性層、前記非磁性保護層、前記下部反強磁性層、前記強磁性層及び前記非磁性層の一部を除去する工程；及び（v）第2の熱処理を行ない、前記下部反強磁性層と前記強磁性層との間に交換結合

を生じさせて該強磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に直交する方向へ固定する工程；を有し、前記（m）工程では、前記フリー磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントが前記強磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントよりも大きくなるように前記フリー磁性層及び前記強磁性層を形成し、且つ、前記非磁性層を前記フリー磁性層と前記強磁性層との間に生じるRKKY的な結合エネルギーが反平行の第1ピーク値又は第2ピーク値となる膜厚で形成し、前記（s）工程では、前記上部反強磁性層から前記フリー磁性層までの各層のトラック幅方向の両側端面を連続面とすることを特徴としている。

## 【0017】

前記フリー磁性層のトラック幅方向の寸法FWと前記強磁性層の同方向の寸法FLの比（FW／FL）は、高出力感度が得られるように、1.1以上2.0以下とすることが好ましい。

## 【0018】

上記各態様において、電極層は、第2反強磁性層から固定磁性層までの両側端面に接する第1電極層と、この第1電極層及び第2反強磁性層上に位置する第2電極層とから形成することができる。すなわち、第1の態様では、（g）工程に替えて、（j）少なくとも前記第2反強磁性層から前記固定磁性層までの各層のトラック幅方向の両側端面に接触させて第1電極層を形成する工程と、（k）レジスト層を除去する工程と、（l）前記第1電極層上及び前記第2反強磁性層のトラック幅領域外上に第2電極層を形成する工程とを有することができる。第2の態様では、（t）工程に替えて、（w）少なくとも前記第2反強磁性層から前記固定磁性層までの各層のトラック幅方向の両側端面に接触させて第1電極層を形成する工程と、（x）レジスト層を除去する工程と、（y）前記第1電極層上及び前記上部反強磁性層のトラック幅領域外上に第2電極層を形成する工程とを有することができる。

## 【0019】

下部反強磁性層は、20Å以上50Å以下の膜厚で成膜することが好ましい。この範囲内であれば、該下部反強磁性層のみが成膜された段階（上部反強磁性層が形成されていない段階）で、下部反強磁性層は反強磁性特性を有さない。よつ

て、固定磁性層の磁化方向を固定するための第1の熱処理を行っても、下部反強磁性層と強磁性層との間に交換結合磁界が生じることがない。あるいは生じても弱い。これに対し、下部反強磁性層上に上部反強磁性層が形成された段階では、熱処理が施されたときに強磁性層と下部反強磁性層との間に大きな交換結合磁界を生じさせるため、下部反強磁性層と上部反強磁性層の合計膜厚を80Å以上300Å以下とすることが好ましい。

## 【0020】

非磁性保護層は、下部反強磁性層の酸化を防止できるように且つ容易に除去できるように、3Å以上10Å以下の膜厚で成膜することが好ましく、低エネルギーイオンミリング時に3Å以下の膜厚に調整されることが好ましい。この場合には、非磁性保護層を介して下部反強磁性層と上部反強磁性層とが結合され、該下部反強磁性層及び上部反強磁性層が一体の反強磁性層として機能する。

## 【0021】

フリー磁性層及び強磁性層は、NiFe合金、Co、CoFe合金、CoNi合金及びCoFeNi合金のいずれかで形成することができる。これらフリー磁性層及び強磁性層は、同一の磁性材料で形成されることが好ましい。フリー磁性層及び強磁性層が同一の磁性材料で形成される場合には、フリー磁性層の単位面積あたりの磁気モーメントを強磁性層よりも大きくするため、強磁性層の膜厚をフリー磁性層よりも薄くする。また、フリー磁性層及び強磁性層のそれぞれを単層で形成する場合は、該フリー磁性層及び強磁性層のうち少なくとも一方がCoFeNi合金で形成されていることが好ましい。さらに、フリー磁性層及び強磁性層のそれぞれを多層により形成する場合は、フリー磁性層がNiFe合金層とCoFe合金層とからなる積層体で形成され、強磁性層がCoFe合金層とNiFe合金層とからなる積層体で形成されていることが好ましい。

## 【0022】

非磁性層は、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのうちいずれか1種又は2種以上で形成されていることが好ましく、特にRuやCuで形成されるのがよい。

## 【0023】

第1反強磁性層及び／又は第2反強磁性層は、PtMn合金、X-Mn（ただし、XはPd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金、又はPt-Mn-X'（ただし、X'はPd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金で形成されていることが好ましい。これら合金により第1反強磁性層及び／又は第2反強磁性層が形成されれば、熱処理により、第1反強磁性層と固定磁性層との間及び／又は第2反強磁性層と強磁性層との間に大きな交換結合磁界を生じさせることができる。

## 【0024】

## 【発明の実施の形態】

以下、図面に基づいて本発明を説明する。各図において、X方向はトラック幅方向、Y方向は記録媒体からの漏れ磁界方向、Z方向は記録媒体の移動方向及び巨大磁気抵抗効果素子を構成する各層の積層方向である。

## 【0025】

図1は、本発明の第1実施形態における巨大磁気抵抗効果（GMR）素子1の構造を、記録媒体との対向面側から見て示す模式断面図である。GMR素子1は、例えばハードディスク装置の薄膜磁気ヘッドに用いられ、GMR効果を利用して記録媒体からの漏れ磁界を検出する。

## 【0026】

GMR素子1は、アルミナ（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）等の絶縁材料からなる下部ギャップ層2上に形成されていて、下部ギャップ層2側から順に、シード層3、第1反強磁性層4、固定磁性層5、非磁性材料層6、フリー磁性層11、非磁性層13、強磁性層12、第2反強磁性層14及び電極層20を有している。非磁性層13、強磁性層12及び第2反強磁性層14は、フリー磁性層11の縦バイアス層である。図示されていないが、下部ギャップ層2の下には、アルチック基板側から順に、アルミナからなるアンダーコート層、TaやNiFe合金等からなる下地層、NiFe系合金等の磁性材料からなる下部シールド層が形成されていてもよい。

## 【0027】

シード層3は、第1反強磁性層4及び該第1反強磁性層上に積層される各層の結晶成長を整えるための下地層であり、NiFe合金、NiCr合金、NiFeCr合金又はCr等で形成される。このシード層3と下部ギャップ層2との間にT<sub>a</sub>等からなる下地層が形成されていてもよく、シード層3の代わりに上記下地層が形成されていてもよい。

## 【0028】

第1反強磁性層4は、熱処理により固定磁性層5との間に大きな交換結合磁界を発生させ、固定磁性層5の磁化方向を図示Y方向に固定する。この第1反強磁性層4は、PtMn合金又はX-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金で形成される。あるいは、Pt-Mn-X'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1又は2種以上の元素である）合金で形成される。これらの合金は、成膜直後の状態では不規則系の面心立方構造（fcc）であるが、熱処理が施されるとCuAuI（CuAu1）型の規則型の面心正方構造（fct）に構造変態する。よって、上記合金を用いて第1反強磁性層4を形成すれば、熱処理を施すことで、固定磁性層5との間に大きな交換結合磁界を生じさせることができる。

## 【0029】

固定磁性層5は、第1固定磁性層5a、非磁性中間層5b及び第2固定磁性層5cからなる積層フェリピンド構造をなしており、第1固定磁性層5aの磁化が第1反強磁性層4との交換結合によりハイト方向に固定され、第2固定磁性層5cの磁化が非磁性中間層5bを介して第1固定磁性層5aの磁化方向と180°異なる向き（反平行）に固定されている。このように固定磁性層5が積層フェリピンド構造をとれば、非磁性中間層5bを介して生じる第1及び第2固定磁性層5a、5c間の反平行結合と、第1固定磁性層5a及び第1反強磁性層4間の交換結合との相乗効果により、固定磁性層5の磁化方向をより安定に固定することができる。なお、固定磁性層5を単層構造としてもよいのは勿論である。

## 【0030】

上記第1及び第2固定磁性層5a、5cは、強磁性材料により形成されるもの

で、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金又はCoNi合金等によって形成される。特に、CoFe合金又はCoによって形成されることが好ましい。また、第1固定磁性層5a及び第2固定磁性層5cは、同一の材料で形成されることが好ましい。非磁性中間層5bは、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのうちいずれか1種又は2種以上で形成することができる。特にRu又はCuで形成されることが好ましい。

## 【0031】

非磁性材料層6は、固定磁性層5とフリー磁性層11との磁気的な結合を防止する層であると共に、センス電流が主に流れる層である。この非磁性材料層6は、Cu、Cr、Au又はAg等の導電性を有する非磁性材料によって形成される。特にCuによって形成されることが好ましい。

## 【0032】

フリー磁性層11は、外部磁界に応じて磁化回転可能な中央部（トラック幅領域）11aと、この中央部11aのトラック幅方向の両側に設けた両側端部11bとを有している。このフリー磁性層11は、単位面積あたりの磁気モーメント（磁気的膜厚）が強磁性層12よりも大きくなるように形成されている。なお、単位面積あたりの磁気モーメントの大きさは、飽和磁化 $M_s$ と膜厚 $t$ の積で表すことができる。

## 【0033】

非磁性層13は、フリー磁性層11の中央部11a及び両側端部11b上に位置する中央部13a及び両側端部13bからなり、この両側端部13b上に強磁性層12が形成されている。非磁性層13の両側端部13bは、フリー磁性層11の両側端部11bと強磁性層12との間に生じるRKKY的な結合エネルギーが反平行の第1ピーク値又は第2ピーク値となる膜厚で形成されている。すなわち、非磁性層13の両側端部13bを介してフリー磁性層11の両側端部11bと強磁性層12は反平行結合されており、フリー磁性層11及び強磁性層12の磁化方向は反平行となっている。この非磁性層13は、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのうちいずれか1種又は2種以上で形成

することができ、特にRu又はCuで形成されることが好ましい。本実施形態では非磁性層13がフリー磁性層11上に全面的に形成されているが、フリー磁性層11の両側端部11b上にのみ形成されていてもよい。

## 【0034】

フリー磁性層11及び強磁性層12は、強磁性材料によって形成されるもので、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金等で形成することができる。これらフリー磁性層11及び強磁性層12は同一材料で形成されることが好ましく、同一材料を用いる場合は、フリー磁性層11の単位面積あたりの磁気モーメントが強磁性層12よりも大きくなるように強磁性層12の膜厚をフリー磁性層11よりも薄くする。また、フリー磁性層11及び強磁性層12を両方とも単層構造とする場合は、該フリー磁性層11及び強磁性層12のうち少なくとも一方はCoNiFe合金で形成されることが好ましい。一方、フリー磁性層11及び強磁性層12を両方とも多層構造とする場合は、フリー磁性層11をNiFe合金とCoFe合金とを順に積層した積層体で形成し、強磁性層12をCoFe合金とNiFe合金とを順に積層した積層体で形成することが好ましい。

## 【0035】

第2反強磁性層14は、強磁性層12上に形成されていて、熱処理により強磁性層12との間に交換結合磁界を生じさせ、強磁性層12の磁化方向をトラック幅方向（図1の左から右方向）に固定する。強磁性層12の磁化が固定されると、非磁性層13の両側端部13bを介してフリー磁性層11の両側端部11bの磁化が強磁性層12の磁化方向と逆向き（図1の右から左方向；反平行）に固定され、この両側端部11bで挟まれた中央部11aの磁化方向が強磁性層12と反平行に揃えられる。本実施形態では、第2反強磁性層14のトラック幅方向の間隔がトラック幅Twを規制しており、該トラック幅Twとフリー磁性層11の中央部11aのトラック幅方向における寸法が一致している。

## 【0036】

第2反強磁性層14は、上述した第1反強磁性層4と同様、PtMn合金又はX-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか

1種又は2種以上の元素である)合金で形成される。あるいは、Pt-Mn-X' (ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1又は2種以上の元素である)合金で形成される。

## 【0037】

電極層20は、第1反強磁性層4上に該第1反強磁性層4、固定磁性層5、非磁性材料層6、フリー磁性層11及び第2反強磁性層14のトラック幅方向の両側端面に接して形成された第1電極層21と、この第1電極層21及び第2反強磁性層14上に形成された第2電極層22とを有している。これら第1電極層21及び第2電極層22は、例えばAu、Cu、 $\alpha$ -Ta又はCr等の比抵抗の小さい導電材料により形成される。第2電極層22に与えられたセンス電流は、第1電極層21を介して非磁性材料層6、フリー磁性層11及び固定磁性層5に流れる。

## 【0038】

図示されていないが、第2電極層22及び非磁性層13の中央部13a上には、例えばアルミナからなる上部ギャップ層を介して、上部シールド層が形成されている。

## 【0039】

以上の本GMR素子1は、少なくともフリー磁性層11、非磁性層13及び強磁性層12のトラック幅方向の両側端面が連続面 $\alpha$ をなしていることを特徴の一つとしている。このように上記両側端面が連続していれば、該両側端面においてフリー磁性層11と強磁性層12との間に静磁結合を生じさせることができ、この静磁結合によりフリー磁性層11のトラック幅方向に加わる反磁界を弱めることができる。よって、狭トラック化によりフリー磁性層11のトラック幅方向の寸法FWが短くとっても、フリー磁性層11及び強磁性層12の両側端面における磁化の乱れ及びトラック幅領域内における磁化の乱れを抑制することができる。

## 【0040】

また本GMR素子1では、フリー磁性層11のトラック幅方向の寸法FWと強

磁性層12のトラック幅方向の寸法FLの比(FW/FL)を1.1以上2.0以下とすることを別の特徴としている。ここで強磁性層12のトラック幅方向の寸法FLとは、図1に示す一対の強磁性層12の合計寸法FL1+FL2である。上記範囲内であれば、強磁性層12との反平行結合によりフリー磁性層11の両側端部11bの磁化を適度に固定でき、且つ、フリー磁性層11の中央部11aの磁化を外部磁界に対して回転し易くすることができる。これにより、再生波形の歪みや不安定性を抑制しつつ出力感度を上げることができ、さらにサイドリーディングの発生を防止することができる。なお、フリー磁性層11の両側端部11b及び強磁性層12間のRKKY的な反平行結合を弱めれば、フリー磁性層11の中央部11aの磁化がさらに回転し易くなり、より出力感度が向上する。フリー磁性層11の両側端部11b及び強磁性層12間の反平行結合の強さは、非磁性層13の両側端部13bの膜厚で調整可能である。

#### 【0041】

さらに本GMR素子1では、第2反強磁性層14上及び少なくとも第2反強磁性層14から固定磁性層5までの各層の両側端面に接して電極層20を形成することで、第2反強磁性層14を介さずにセンス電流を供給することを別の特徴としている。このように第2反強磁性層14を介さずにセンス電流を供給すれば、第2反強磁性層14を介してセンス電流を供給していた従来よりも素子抵抗を低減することができる。この結果、高周波ノイズの発生を抑えることができ、S/N比の向上につながる。

#### 【0042】

以下では、図2～図8を参照し、図1に示すGMR素子1の製造方法について説明する。先ず、アルミナからなる下部ギャップ層2上に、シード層3と、第1反強磁性層4と、固定磁性層5を構成する第1固定磁性層5a、非磁性中間層5b及び第2固定磁性層5cと、非磁性材料層6と、フリー磁性層11と、非磁性層13とを連続成膜する(図2)。この連続成膜工程は、スパッタや蒸着法等の薄膜形成プロセスを用い、同一真空成膜装置中で行なう。

#### 【0043】

シード層3は、NiFe合金、NiCr合金、NiFeCr合金又はCr等か

ら形成する。第1反強磁性層4は、PtMn合金又はX-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金で形成する。あるいは、Pt-Mn-X'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1又は2種以上の元素である）合金で形成する。これらの合金材料で第1反強磁性層4を形成すれば、後工程の磁場中アニール処理において、大きな交換結合磁界を発生させることができる。

## 【0044】

第1固定磁性層5a及び第2固定磁性層5cは、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金又はCoNi合金等の磁性材料によって形成することができ、同一の材料で形成されていることが好ましい。非磁性中間層5bは、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのうちいずれか1種又は2種以上で形成することができ、特にRu又はCuで形成されることが好ましい。なお、固定磁性層5は、単層の強磁性材料層から形成してもよい。

## 【0045】

非磁性材料層6は、例えばCu、Cr、Au又はAg等の導電性を有する非磁性材料によって形成することができる。特にCuによって形成されることが好ましい。フリー磁性層11は、NiFe合金、Co、CoFe合金、CoNi合金及びCoFeNi合金のいずれかで形成することができる。非磁性層13は、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのうちいずれか1種又は2種以上で形成することができ、特にRu又はCuで形成されることが好ましい。この非磁性層13は、図1の完成状態よりも厚い膜厚で成膜する。

## 【0046】

非磁性層13まで形成したら、第1の熱処理を行なう。すなわち、トラック幅Twと直交する方向（ハイト方向；図示Y方向）に第1の磁界を印加しつつ第1の熱処理温度で熱処理し、第1反強磁性層4と第1固定磁性層5aとの間に交換結合磁界を生じさせて第1固定磁性層5aの磁化をハイト方向に固定する。

## 【0047】

アニール処理を施したら、図3に示すように、低エネルギーイオンミリングにより非磁性層13の表面イオンクリーニングを行なう。本実施形態の低エネルギーイオンミリングには、例えば100～200eV程度で加速したArイオンを用いる。この工程において、非磁性層13は、該非磁性層13を介してフリー磁性層11と強磁性層12との間に生じるRKKY的結合エネルギーが反平行の第1ピーク値（又は第2ピーク値）となる膜厚に調整される。例えば非磁性層13がRuから形成されている場合は6Å以上12Å以下の膜厚に調整されることが好ましく、Cuから形成されている場合は7Å以上12Å以下の膜厚に調整されることが好ましい。なお、図3に示す矢印H方向はイオンミリング方向である。

## 【0048】

続いて、図4に示すように、非磁性層13上に強磁性層12及び第2反強磁性層14を連続成膜する。成膜にはスパッタや蒸着法を用いる。

## 【0049】

強磁性層12は、フリー磁性層11と同一の材料で形成されることが好ましい。フリー磁性層11と強磁性層12が同一の材料で形成される場合は、フリー磁性層11の単位面積あたりの磁気モーメントが強磁性層12よりも大きくなるよう、フリー磁性層11よりも薄い膜厚で強磁性層12が形成される。これらフリー磁性層11及び強磁性層12は、単層構造又は多層構造とすることができます。フリー磁性層11及び強磁性層12を両方とも単層構造とする場合は、該フリー磁性層11及び強磁性層12のうち少なくとも一方はCoNiFe合金で形成することが好ましい。一方、フリー磁性層11及び強磁性層12を両方とも多層構造とする場合は、フリー磁性層11をNiFe合金とCoFe合金とを順に積層した積層体で形成し、強磁性層12をCoFe合金とNiFe合金とを順に積層した積層体で形成することが好ましい。

## 【0050】

続いて、第2反強磁性層14上にフォトレジスト液を塗布し、露光現像することによってトラック幅領域をパターニングして、このトラック幅領域に対応する位置に図5に示すレジスト層Rを形成する。このレジスト層Rはリフトオフ用のレジスト層である。レジスト層Rを形成したら、レジスト層Rのトラック幅方向

の両側から第1反強磁性層4が露出するまでイオンミリングを行なう(図5)。図5に示す矢印H方向はイオンミリング方向である。なお、このイオンミリングは、シード層3又は下部ギャップ層2が露出するまで継続してもよい。

#### 【0051】

上記イオンミリング工程では、図5に点線で示される各層のトラック幅領域外の部分(レジスト層Rのトラック幅方向の両側から露出する第2反強磁性層14、強磁性層12、非磁性層13、フリー磁性層11、非磁性材料層6、固定磁性層5及び第1反強磁性層4の一部)を除去する。これにより、フリー磁性層11のトラック幅方向の寸法FWが規制されると共に、第2反強磁性層14から第1反強磁性層4までの各層のトラック幅方向の両側端面が連続面 $\alpha$ とされる。この連続面 $\alpha$ が形成されると、フリー磁性層11と強磁性層12の両側端面11c、12cにおいてフリー磁性層11と強磁性層12の間に静磁結合を生じさせることができ、この静磁結合によってフリー磁性層11及び強磁性層12の両側端部における反磁界の影響を軽減することができる。

#### 【0052】

続いて、図6に示すように、露出した第1反強磁性層4上に、第2反強磁性層14から第1反強磁性層4までの両側端面に接触させて第1電極層21を形成する。この第1電極層21は、例えばAu、Cu、 $\alpha$ -Ta又はCr等の比抵抗の小さい導電材料により形成することができる。

#### 【0053】

第1電極層21を形成したら、リフトオフによりレジスト層Rを除去し、図7に示すように第1電極層21及び第2反強磁性層14上のトラック幅領域外範囲に第2電極層22を形成する。すなわち、第1電極層21及び第2反強磁性層14上に第2電極層22及びメタルマスク層23を形成した後、反応性イオンエッティングにより、トラック幅領域内のメタルマスク層23及び第2電極層22を除去する。第2電極層22は、第1電極層21と同一の導電材料で形成されることが好ましい。なお、第2電極層22はリフトオフ法を用いても形成することができる。リフトオフで形成する場合はメタルマスク層23が不要である。

#### 【0054】

上記第2電極層22にセンス電流が与えられると、該センス電流は比抵抗の小さい第1電極層21を介して非磁性材料層6、固定磁性層5及びフリー磁性層11を流れる。すなわち、電極層20よりも比抵抗が極端に大きい第2反強磁性層14を介さずに、センス電流を供給することができる。これにより、形成すべきGMR素子1の素子抵抗を良好に抑えることができ、高周波ノイズによるS/N比の低下を回避することができる。

#### 【0055】

第2電極層22を形成したら、図8に示すように、メタルマスク層23及び第2電極層22をマスクとして反応性イオンエッチング(RIE)処理を行ない、トラック幅領域内の第2反強磁性層14、強磁性層12及び非磁性層13を除去する。本実施形態では、トラック幅領域内の非磁性層13(中央部13a)の膜厚が3Å以下となった時点で該反応性イオンエッチングを終了する。なお、トラック幅領域内の非磁性層13は全て除去してもよく、また、反応性イオンエッチングの替わりにイオンミリングを用いてもよい。

#### 【0056】

この反応性イオンエッチング工程によれば、図8の点線で示される部分が取り除かれ、凹部βが形成される。すなわち、フリー磁性層11の両側端部11b上にのみ強磁性層12と第2反強磁性層14が存在し、この第2反強磁性層14のトラック幅方向の間隔によってトラック幅Twが規制されると共に、強磁性層12のトラック幅方向の寸法FLが規制される。

#### 【0057】

本実施形態では、フリー磁性層11の両側端部11bの磁化を適度に固定し且つ中央部11aの磁化を外部磁界に対して回転し易くするため、フリー磁性層11のトラック幅方向の寸法FWと強磁性層12のトラック幅方向の寸法FLの比(FW/FL)を1.1以上2.0以下に設定する。

#### 【0058】

続いて、第2の熱処理を行なう。この工程では、上記第1の磁界と直交する方向(トラック幅方向)に、フリー磁性層11と強磁性層12の保磁力よりも大きく且つスピンドロップ磁界よりも小さい第2の磁界を印加しつつ、上記第1反強

磁性層4のブロッキング温度よりも低い第2の熱処理温度で熱処理する。この熱処理により、強磁性層12と第2反強磁性層14との間に交換結合磁界が生じ、強磁性層12の磁化方向は固定磁性層5の磁化方向に直交する方向へ固定され、フリー磁性層11の磁化方向は強磁性層12の磁化方向と反平行となる。この第2の熱処理は、図4に示す工程の直後に行なってもよい。以上の工程により、図1のGMR素子1が得られる。

## 【0059】

図9は、本発明の第2実施形態によるGMR素子100の構造を、記録媒体との対向面から見て示した部分断面図である。この第2実施形態は、第2反強磁性層14を、下部反強磁性層14a及び上部反強磁性層14bから形成した点において、第1実施形態と異なる。図9では、第1実施形態と実質的に同一の構成要素には図1と同一符号を付してある。

## 【0060】

下部反強磁性層14aと上部反強磁性層14bの間には、非磁性保護層15が介在していてもよい。非磁性保護層15は、製造工程中に下部反強磁性層14aが酸化されないように設けた酸化防止層であり、3Å以下の膜厚に調整される。この非磁性保護層15を構成する元素は、強磁性層12と下部反強磁性層14aとの間に交換結合磁界を生じさせるための熱処理時に、下部反強磁性層14a及び／又は上部反強磁性層14bの内部に拡散し、下部反強磁性層14a及び／又は上部反強磁性層14bの内部に混在していてもよい。

## 【0061】

上部反強磁性層14bは、非磁性保護層15を介して下部反強磁性層14aに結合され、下部反強磁性層14aと一体に機能する。下部反強磁性層14aは、該下部反強磁性層14aのみが成膜された段階では反強磁性特性を有さないように、20Å以上50Å以下の膜厚で形成されることが好ましい。また、下部反強磁性層14a及び上部反強磁性層14bの合計膜厚は、熱処理によって強磁性層12と下部反強磁性層14aとの間に大きな交換結合磁界が生じるように、80Å以上300Å以下であることが好ましい。

## 【0062】

下部反強磁性層14a及び上部反強磁性層14bは、同一材料で形成されることが好ましく、PtMn合金又はX-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種又は2種以上の元素である）合金で形成される。あるいは、Pt-Mn-X'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1又は2種以上の元素である）合金で形成される。一方、非磁性保護層15は、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのうちいずれか1種又は2種以上で形成することができ、特にRu又はCrで形成されることが好ましい。上記下部反強磁性層14a及び上部反強磁性層14bの材料と上記非磁性保護層15の材料の組み合わせによれば、熱処理によって非磁性保護層15を構成する元素が下部反強磁性層14a及び／又は上部反強磁性層14b内部に拡散される結果、下部反強磁性層14a及び／又は上部反強磁性層14bの境界面近傍で非磁性保護層15の元素の濃度が部分的に高くなっていても、下部／上部反強磁性層14a、14bは一体として機能し、強磁性層12との間に大きな交換結合磁界を発生させることができる。

#### 【0063】

以下では、図10～図13を参照し、図9に示すGMR素子100の製造方法について説明する。先ず、アルミナからなる下部ギャップ層2上に、シード層3と、第1反強磁性層4と、固定磁性層5を構成する第1固定磁性層5a、非磁性中間層5b及び第2固定磁性層5cと、非磁性材料層6と、フリー磁性層11、非磁性層13と、強磁性層12と、下部反強磁性層14aと、非磁性保護層15とを連続成膜する（図10）。この連続成膜工程は、スパッタや蒸着法等の薄膜形成プロセスを用い、同一真空中成膜装置中で行なう。

#### 【0064】

シード層3、第1反強磁性層4、第1固定磁性層5a、非磁性中間層5b、第2固定磁性層5c、非磁性材料層6、フリー磁性層11、非磁性層13及び強磁性層12の材料及び膜厚は、第1実施形態と同様であるから、説明を省略する。

#### 【0065】

下部反強磁性層14aは、第1反強磁性層4と同様に、PtMn合金又はX-

Mn (ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種又は2種以上の元素である) 合金で形成する。あるいは、Pt-Mn-X' (ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Krのいずれか1又は2種以上の元素である) 合金で形成する。この下部反強磁性層14aは、20Å以上50Å以下の膜厚で形成されることが好ましい。この範囲内であれば、下部反強磁性層14aのみが強磁性層12上に形成されている状態で熱処理が施されても、強磁性層12と下部反強磁性層14a間に交換結合磁界が生じない (あるいは生じても弱い)。

#### 【0066】

非磁性保護層15は、下部反強磁性層14aが酸化されないように設けた保護層 (酸化防止層) であり、3Å以上10Å以下の膜厚で形成されることが好ましい。この非磁性保護層15は、Ru、Rh、Pd、Ir、Os、Re、Cr、Cu、Pt、Auのうちいずれか1種又は2種以上で形成することができる。特にRu又はCrで形成されることが好ましい。

#### 【0067】

非磁性保護層15まで形成したら、第1の熱処理を行なう。すなわち、トラック幅Twと直交する方向 (ハイト方向; 図示Y方向) に第1の磁界を印加しつつ第1の熱処理温度で熱処理し、第1反強磁性層4と第1固定磁性層5aとの間に交換結合磁界を生じさせて第1固定磁性層5aの磁化方向を固定する。このとき、下部反強磁性層14aは上述したように反強磁性特性を有さない薄い膜厚で形成されているため、第1の熱処理が施されても規則化しにくく、下部反強磁性層14aと強磁性層12間には交換結合磁界が生じない (あるいは生じても弱い)。

#### 【0068】

続いて、図11に示すように、低エネルギーイオンミリングにより非磁性保護層15の表面クリーニングを行なう。このとき、非磁性保護層15の膜厚は3Å以下に調整される。

#### 【0069】

続いて、図12に示すように、非磁性保護層15を介して下部反強磁性層14

a 上に、上部反強磁性層 14 b を形成する。上部反強磁性層 14 b は、該上部反強磁性層 14 b と下部反強磁性層 14 a の合計膜厚が 80 Å 以上 300 Å 以下となる膜厚で形成されることが好ましい。この範囲内であれば、下部反強磁性層 14 a と上部反強磁性層 14 b が第2反強磁性層 14 として一体に機能し、熱処理により下部反強磁性層 14 a と強磁性層 12 との間に大きな交換結合磁界を発生させることができる。なお、図11の低エネルギーイオンミリング工程で非磁性保護層 15 を全て除去した場合には、下部反強磁性層 14 a 上に直接、上部反強磁性層 14 b を形成する。

#### 【0070】

上部反強磁性層 14 b を形成したら、上部反強磁性層 14 b 上に図13に示すレジスト層 R を形成し、レジスト層 R のトラック幅方向の両側から第1反強磁性層 14 が露出するまでイオンミリングを行なう（図13）。図13に示す矢印 H 方向はイオンミリング方向である。このイオンミリング工程では、図13に点線で示される各層のトラック幅領域外の部分が取り除かれる。これにより、フリー磁性層 11 のトラック幅方向の寸法が寸法 FW に規制されると共に、上部反強磁性層 14 b から第1反強磁性層 4 までの各層の両側端面が連続面  $\alpha$  とされてフリー磁性層 11 と強磁性層 12 の両側端面 11c、12c では両層間に静磁結合が生じる。なお、上記イオンミリングは、シード層 3 又は下部ギャップ層 2 が露出するまで継続してもよい。

#### 【0071】

続いて、上述した第1実施形態と同様の工程（図6～図8）で、第1電極層 2 1 及び第2電極層 2 2 を形成し、トラック幅領域内の上部反強磁性層 14 b、非磁性保護層 15、下部反強磁性層 14 a、強磁性層 12 及び非磁性層 13 を除去する。この結果、上部反強磁性層 14 b、非磁性保護層 15 及び下部反強磁性層 14 a の間隔によってトラック幅寸法 Tw が規制されると共に、強磁性層 12 のトラック幅方向の寸法が寸法 FL に規制される。

#### 【0072】

そして、第2の熱処理を行なう。この工程では、上記第1の磁界と直交する方向（トラック幅方向）に第2の磁界を印加しつつ、上記第1反強磁性層 4 のプロ

ッキング温度よりも低い第2の熱処理温度で熱処理する。この熱処理時には、非磁性保護層15を構成する元素が下部反強磁性層14a及び／又は上部反強磁性層14bの内部に拡散され、下部反強磁性層14a及び／又は上部反強磁性層14bの内部に混在されてもよい。なお、この第2の熱処理は、図12に示す工程の直後に行なってもよい。以上の工程により、図9に示すGMR素子100が得られる。

## 【0073】

上記各実施形態では、第1電極層21と第2電極層22から電極層20を形成しているが、単層構造としてもよい。すなわち、第1電極層21のみを形成する様であっても第2電極層22のみを形成する様であってもよい。第2電極層22のみを形成する場合は、図5又は図13に示す工程で連続面 $\alpha$ を形成した後、レジスト層Rを除去し、図14に示すように第2反強磁性層14のトラック幅領域外上及び連続面 $\alpha$ 上に第2電極層22を形成する。上記いずれの様でも、第2反強磁性層14を介さずにセンス電流を供給することができ、素子抵抗を良好に抑えることができる。また電極層20（第2電極層22）は、図15に示すようにフリー磁性層11側の端部がオーバーレイしていてもよい。このオーバーレイ構造をとれば、素子抵抗をさらに低減することができ、またサイドリーディングの発生を良好に防止することができる。

## 【0074】

また、上記各実施形態では、フリー磁性層11と強磁性層12間の反平行結合が適度に弱くなるように非磁性層13の両側端部13bの膜厚を調整することで、フリー磁性層11の中央部11aをより回転し易くし、さらに出力感度を高めることが可能である。フリー磁性層11と強磁性層12間にはトラック幅方向の両側端部位置において静磁結合が生じているから、フリー磁性層11と強磁性層12間の反平行結合を弱めても、サイドリーディングの発生を良好に防止することができる。

## 【0075】

以上の本GMR素子1（100）は、再生用薄膜磁気ヘッドのみでなく、この再生用薄膜磁気ヘッド上にさらに記録用のインダクティブヘッドを積層した録再

用薄膜磁気ヘッドにも適用可能である。また各種の磁気センサとして用いることもできる。

## 【0076】

## 【発明の効果】

本発明によれば、少なくともフリー磁性層、非磁性層及び強磁性層のトラック幅方向の両側端面を連続面としたので、該両側端面においてフリー磁性層と強磁性層との間に静磁結合が生じ、この静磁結合によりフリー磁性層及び強磁性層に加わる反磁界の影響を軽減することができる。よって、狭トラック化を実現するためにフリー磁性層のトラック幅方向の寸法を短くしても、トラック幅領域内における磁化の乱れを抑制することができ、出力感度を向上させることができる。また本発明によれば、フリー磁性層及び強磁性層のトラック幅方向の寸法の比（FW/F<sub>L</sub>）を1.1以上2.0以下に規定したので、再生波形の歪みや不安定性を良好におさえつつ、出力感度を高めることができる。さらに本発明によれば、比抵抗の大きい第2反強磁性層を介さずにセンス電流を供給するので、素子抵抗を良好に抑えることができ、この結果、高周波ノイズを抑制してS/N比を高めることができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

本発明の第1実施形態による巨大磁気抵抗効果素子（GMR素子）の構造を、記録媒体との対向面から見て示す部分断面図である。

## 【図2】

図1に示すGMR素子の製造方法の一工程図である。

## 【図3】

図2に示す工程の次に行なわれる一工程図である。

## 【図4】

図3に示す工程の次に行なわれる一工程図である。

## 【図5】

図4に示す工程の次に行なわれる一工程図である。

【図6】

図5に示す工程の次に行なわれる一工程図である。

【図7】

図6に示す工程の次に行なわれる一工程図である。

【図8】

図7に示す工程の次に行なわれる一工程図である。

【図9】

本発明の第2実施形態によるGMR素子の構造を、記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。

【図10】

図9に示すGMR素子の製造方法の一工程図である。

【図11】

図10に示すGMR素子の製造方法の一工程図である。

【図12】

図11に示すGMR素子の製造方法の一工程図である。

【図13】

図12に示すGMR素子の製造方法の一工程図である。

【図14】

別の態様による第2電極層を示す部分断面図である。

【図15】

さらに別の態様による第2電極層を示す部分断面図である。

【符号の説明】

- 1 GMR素子
- 2 下部ギャップ層
- 3 シード層
- 4 第1反強磁性層
- 5 固定磁性層
  - 5 a 第1固定磁性層
  - 5 b 非磁性中間層

5 c 第2固定磁性層

6 非磁性材料層

1 1 フリー磁性層

1 1 a 中央部

1 1 b 両側端部

1 2 強磁性層

1 3 非磁性層

1 3 a 中央部

1 3 b 両側端部

1 4 第2反強磁性層

1 5 非磁性保護層

2 0 電極層

2 1 第1電極層

2 2 第2電極層

2 3 メタルマスク層

R レジスト層

H イオンミリング方向

T w トランク幅

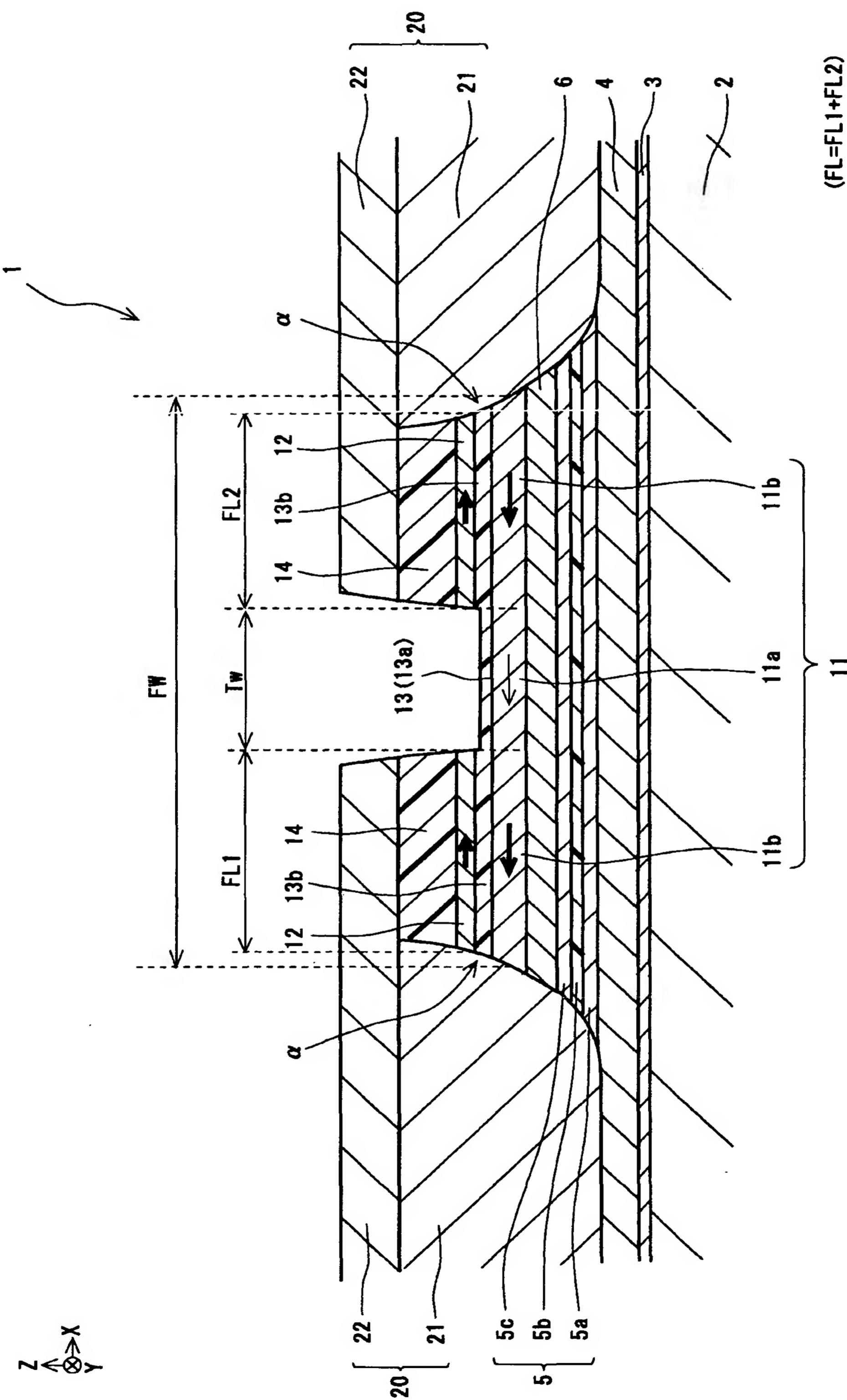
F W フリー磁性層のトランク幅方向の寸法

F L 強磁性層のトランク幅方向の合計寸法

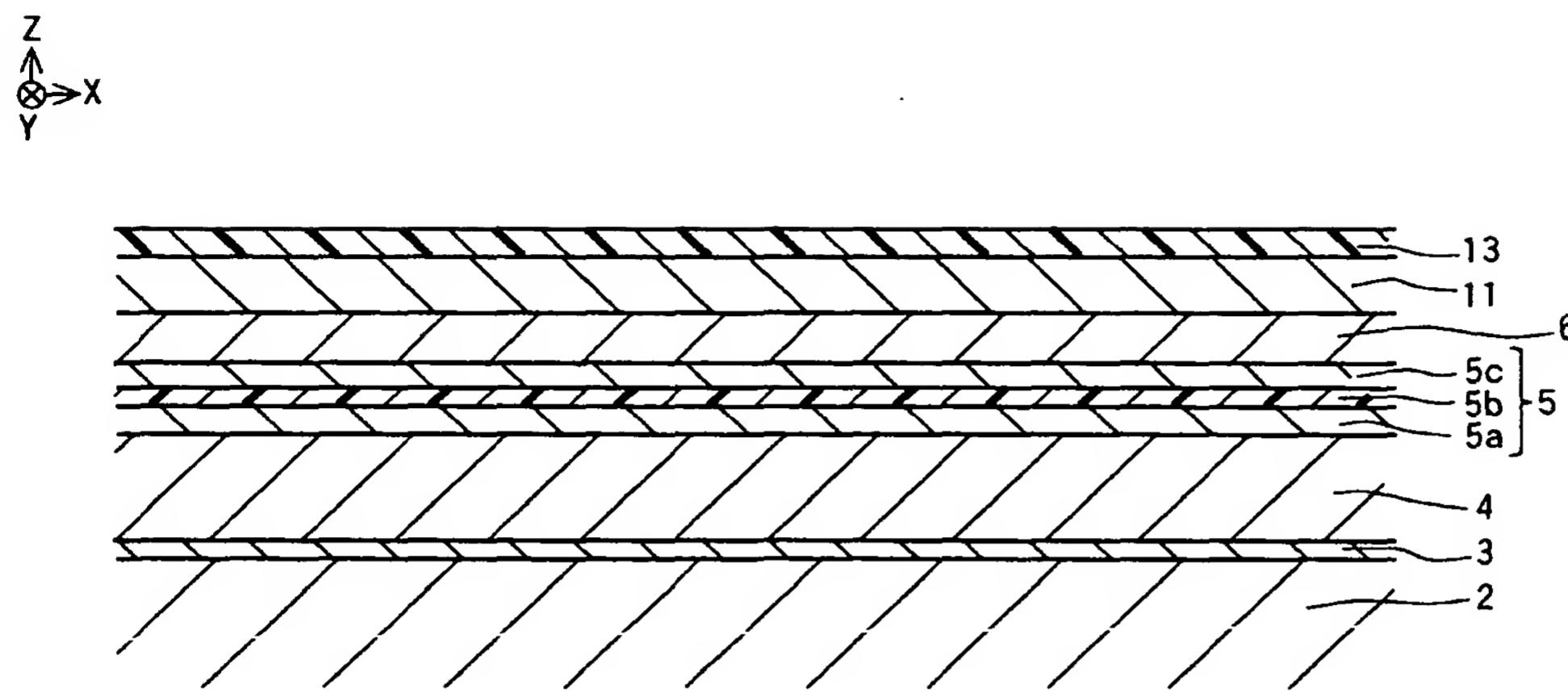
特2002-238319

【書類名】 図面

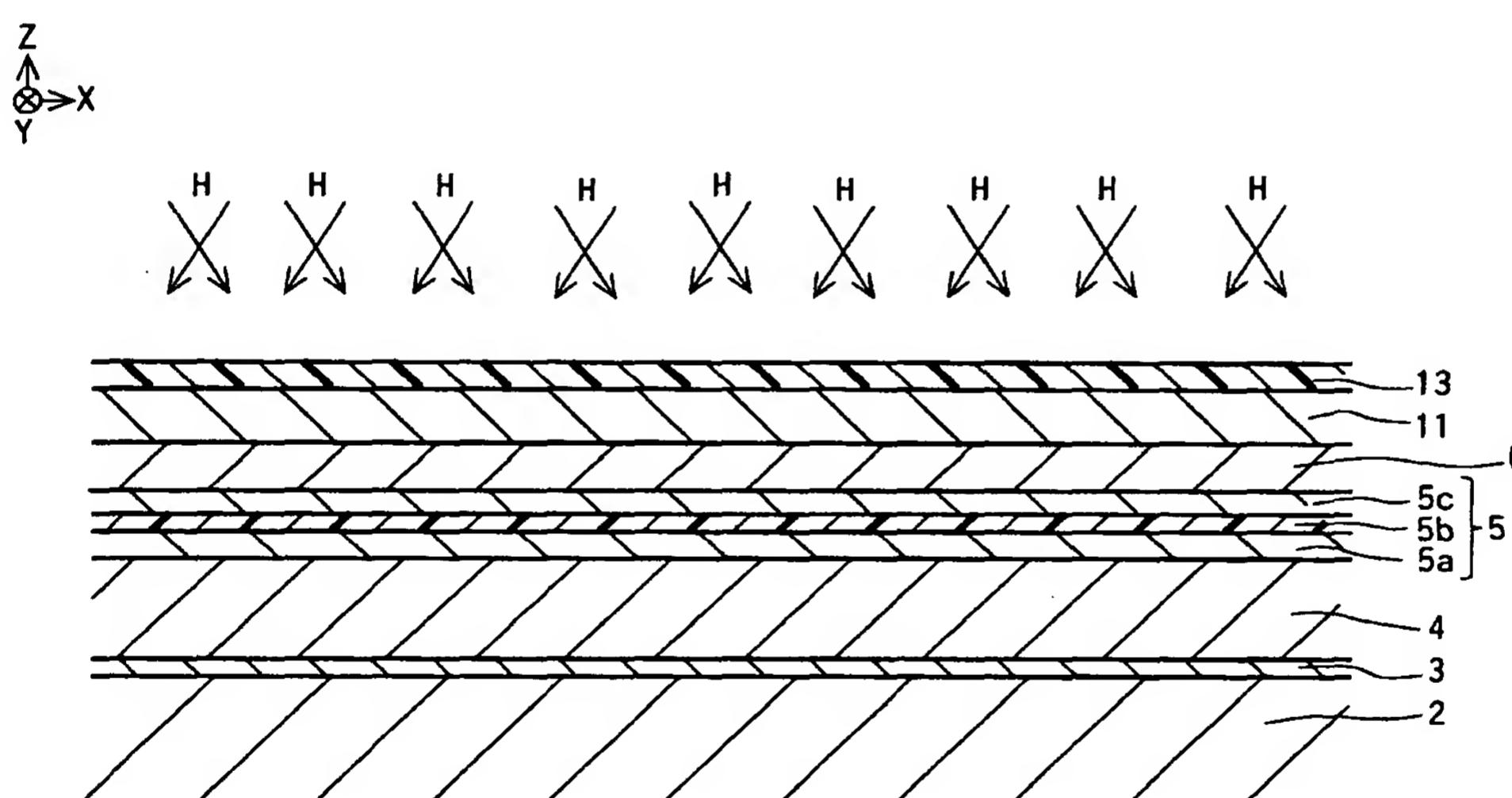
【図1】



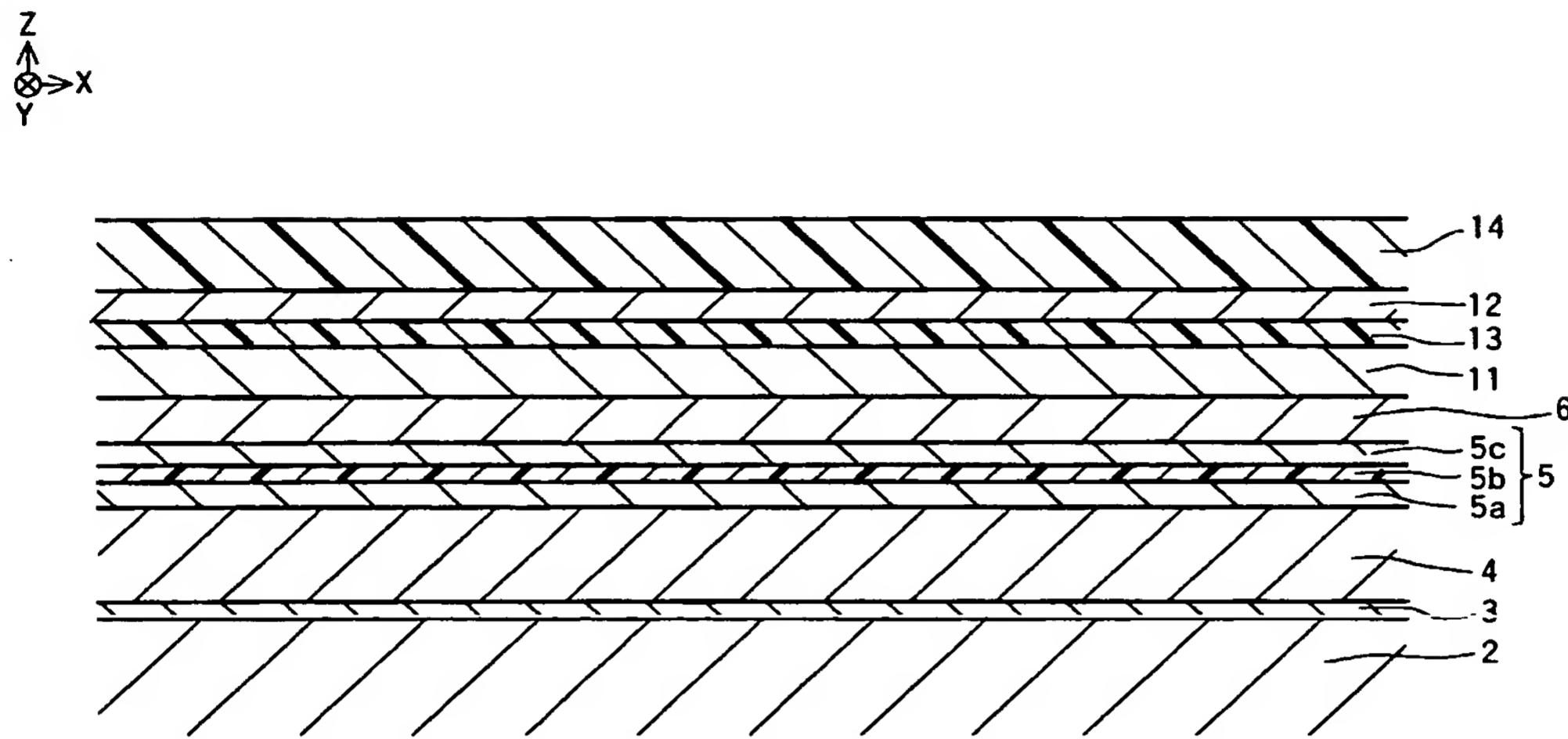
【図2】



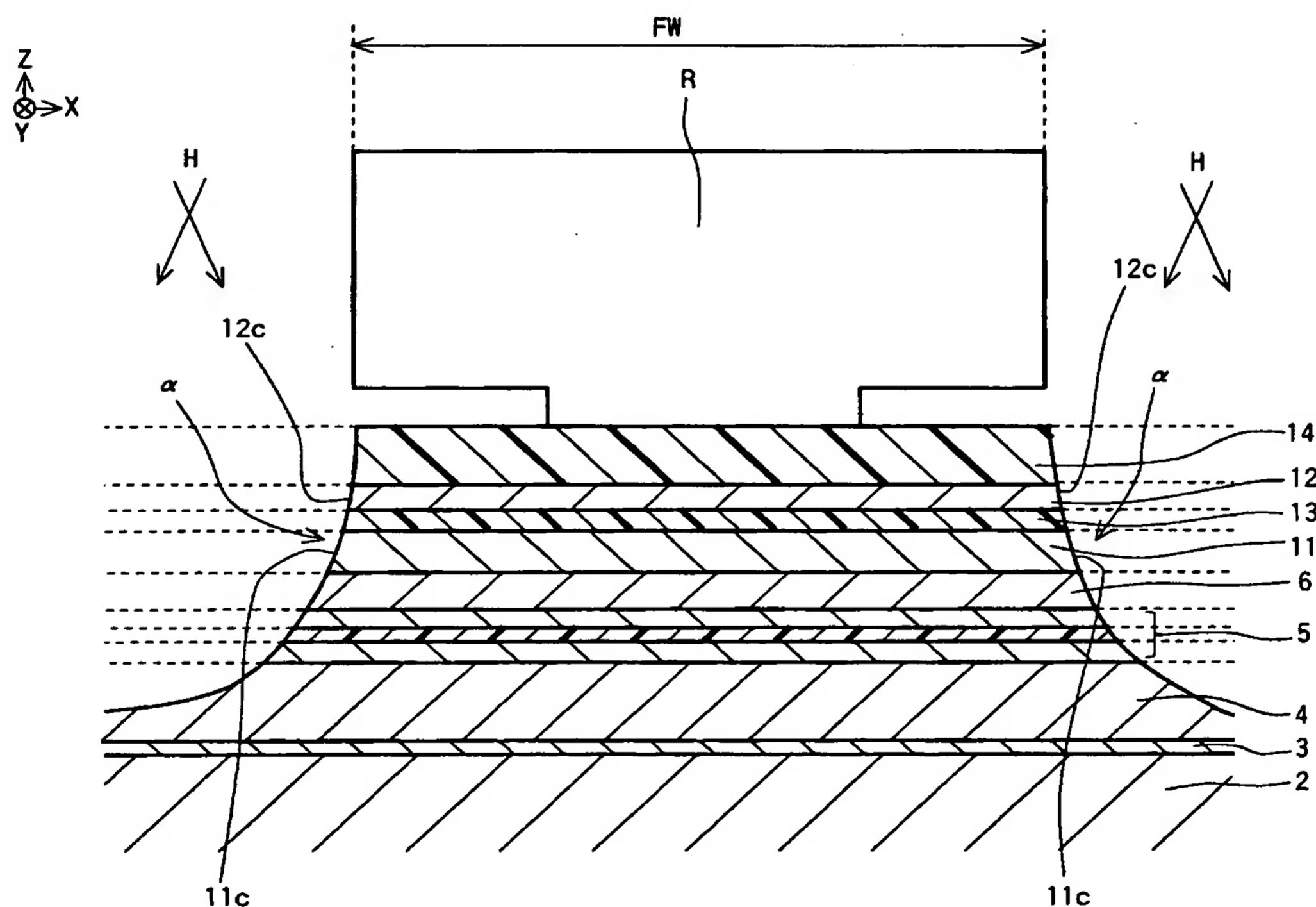
【図3】



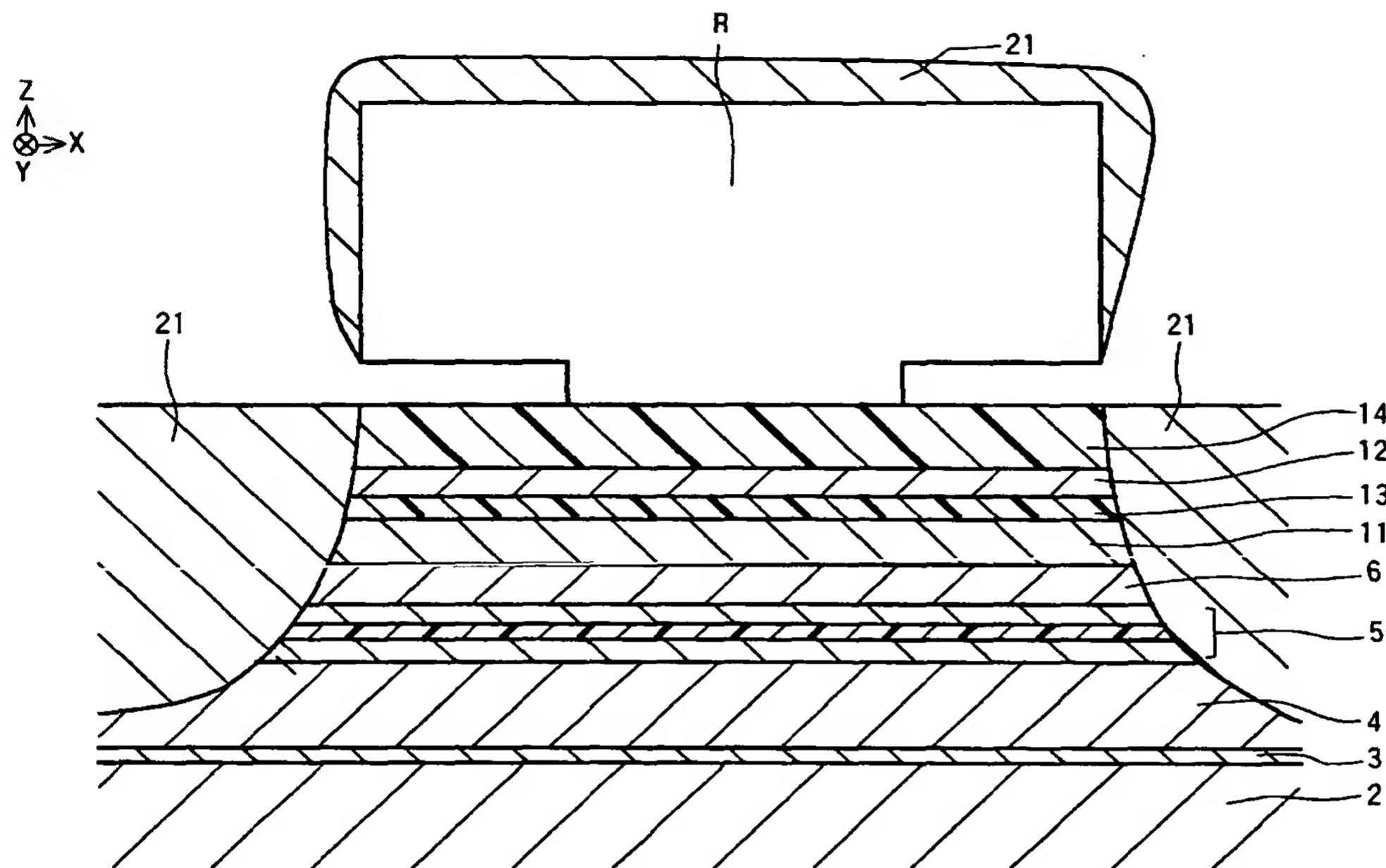
【図4】



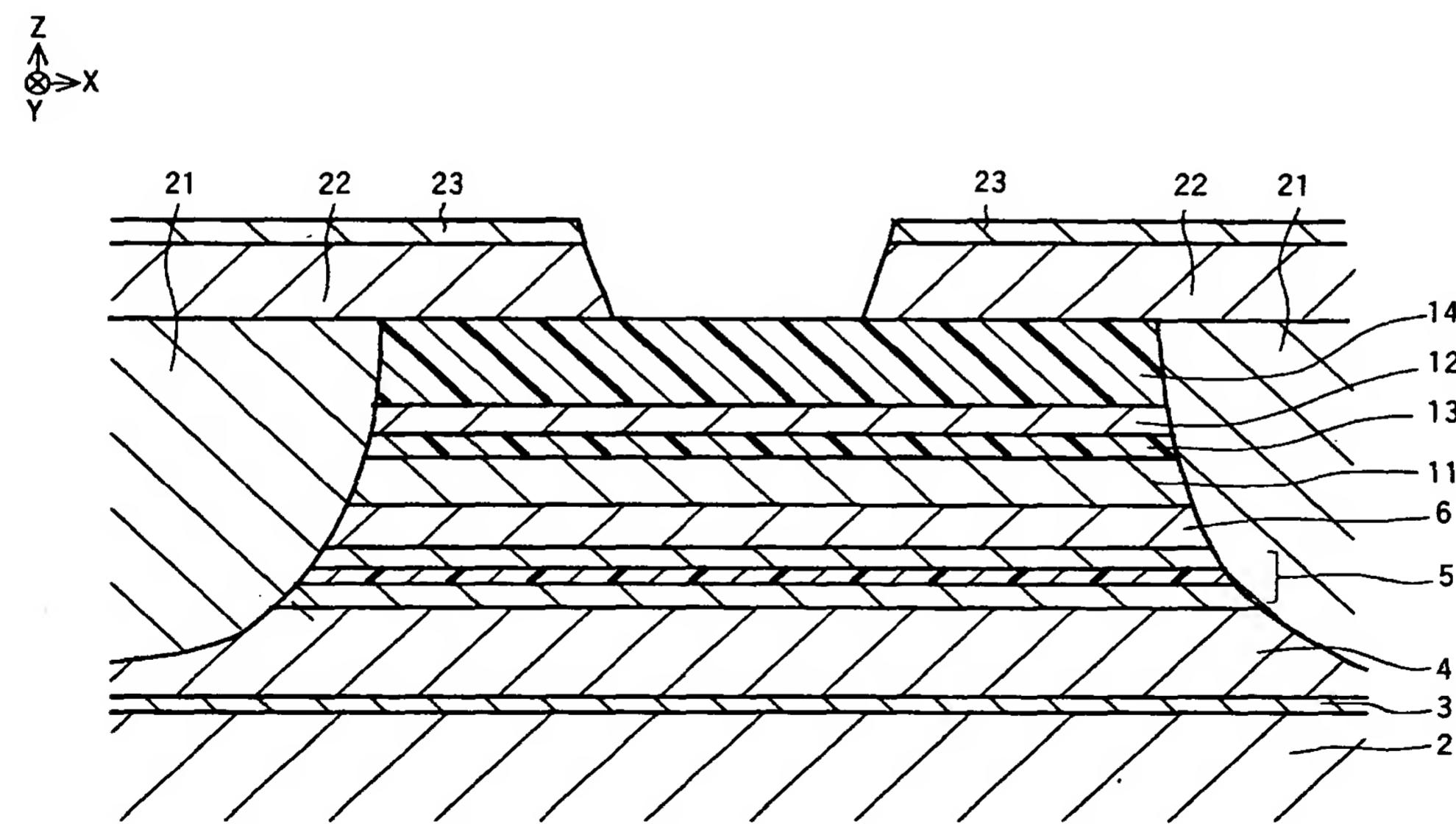
【図5】



【図6】

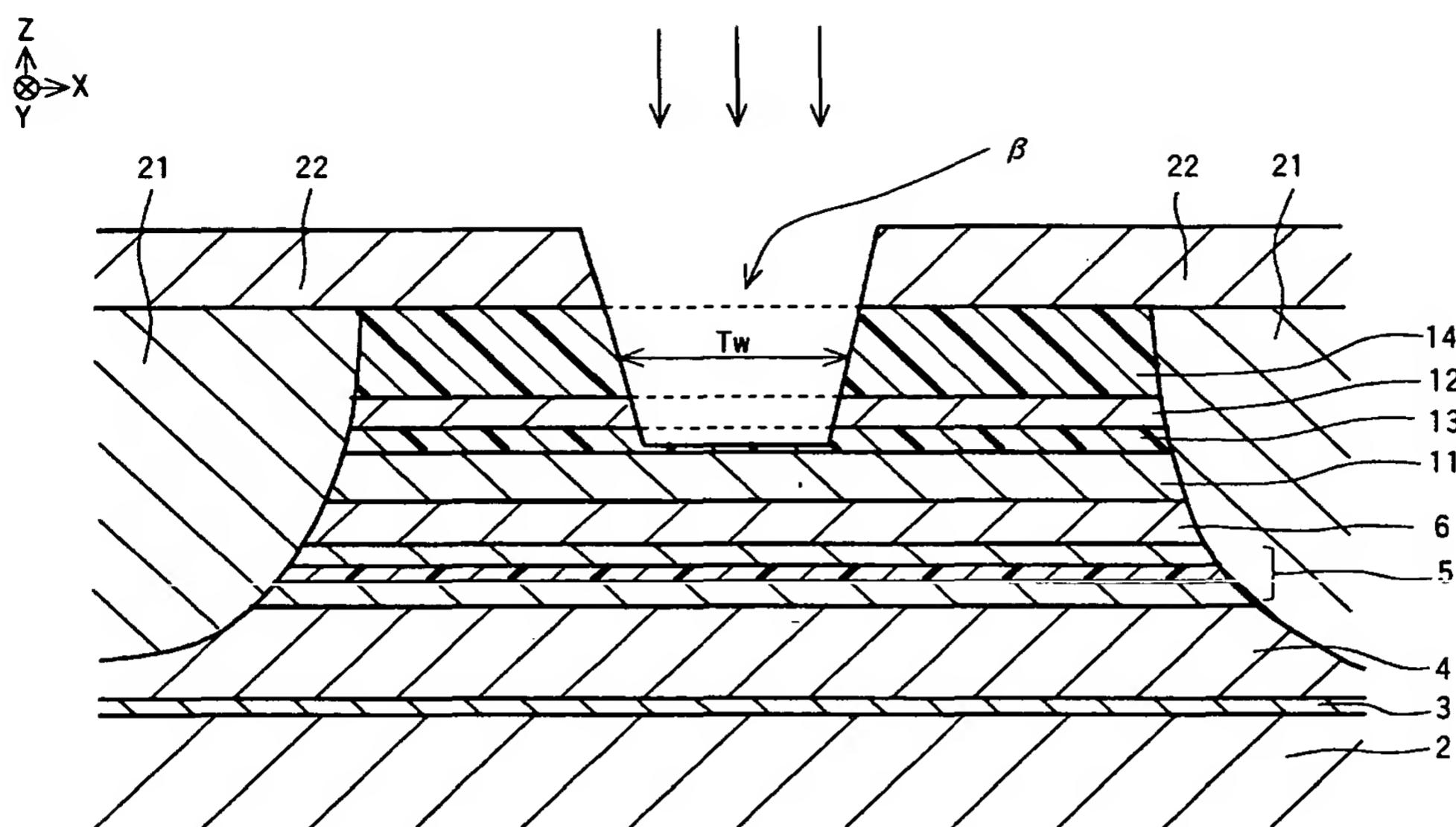


【図7】

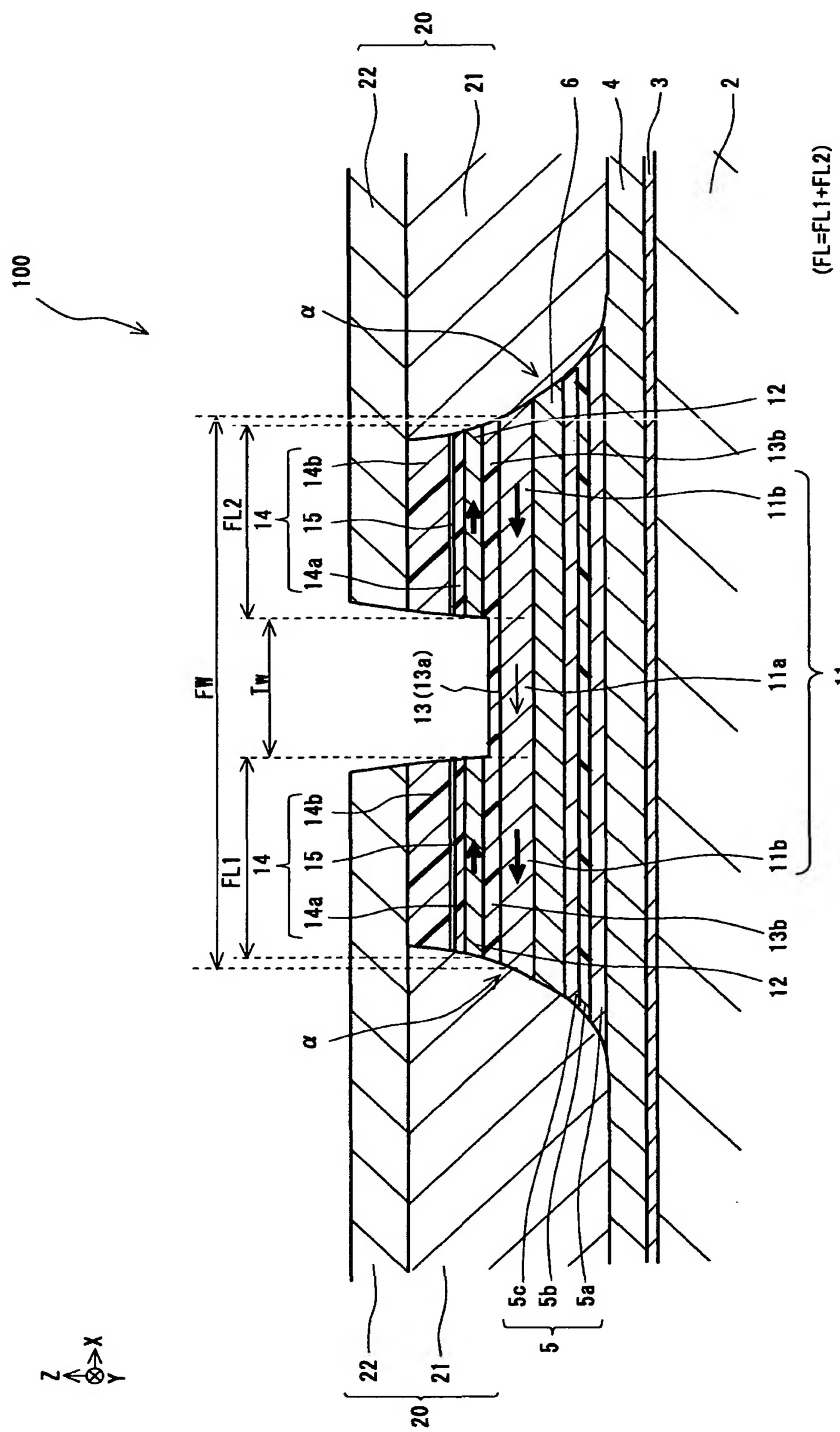




【図8】

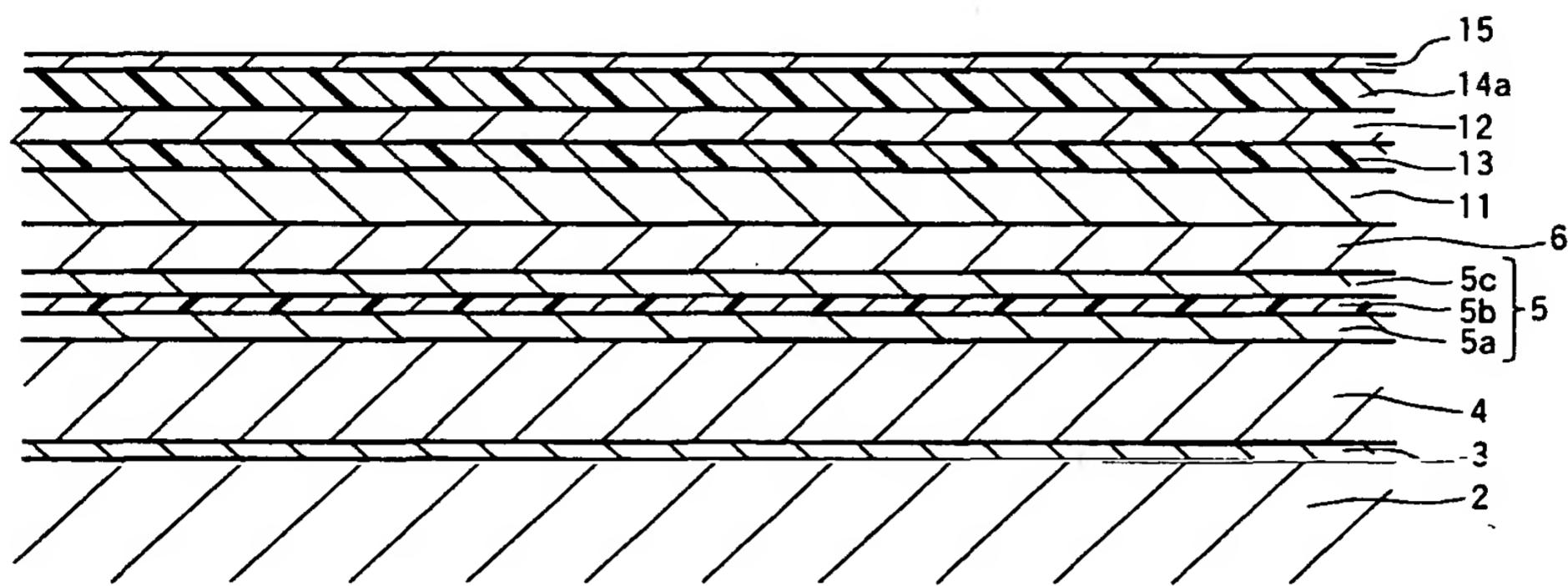
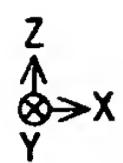


【図9】

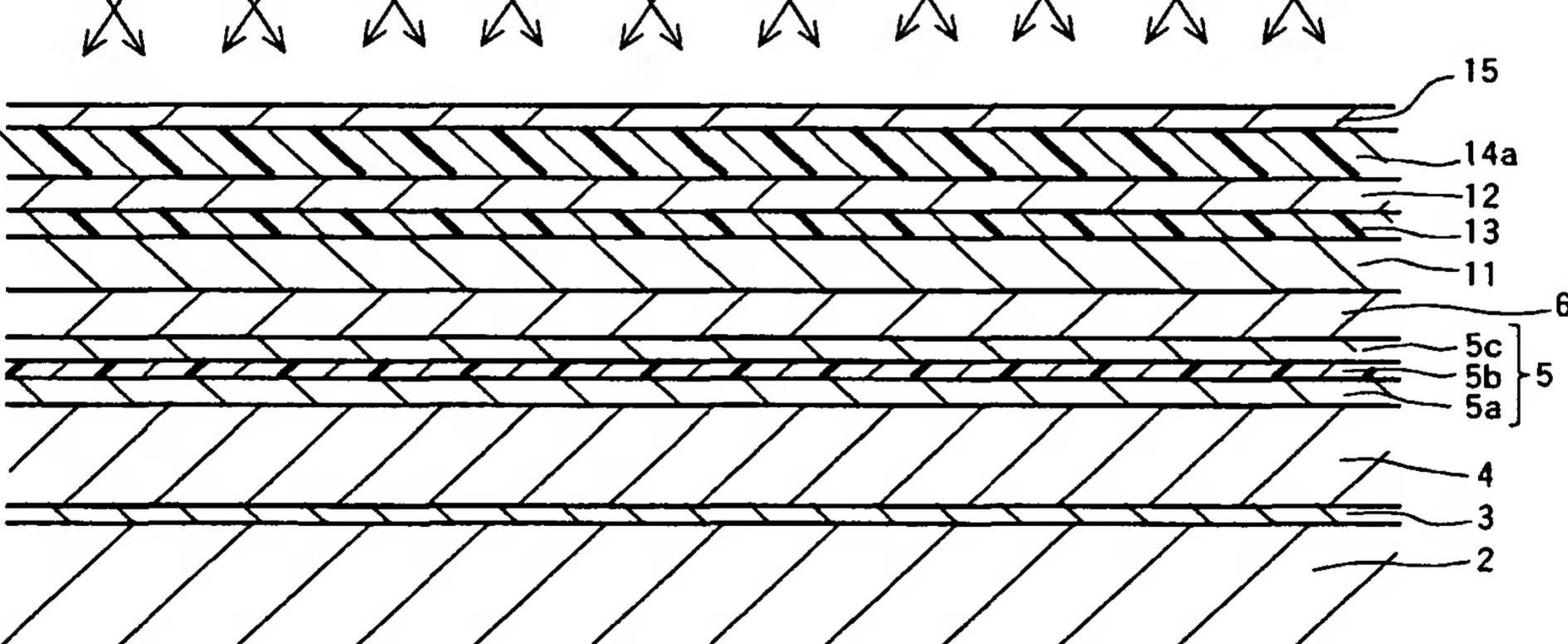
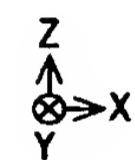




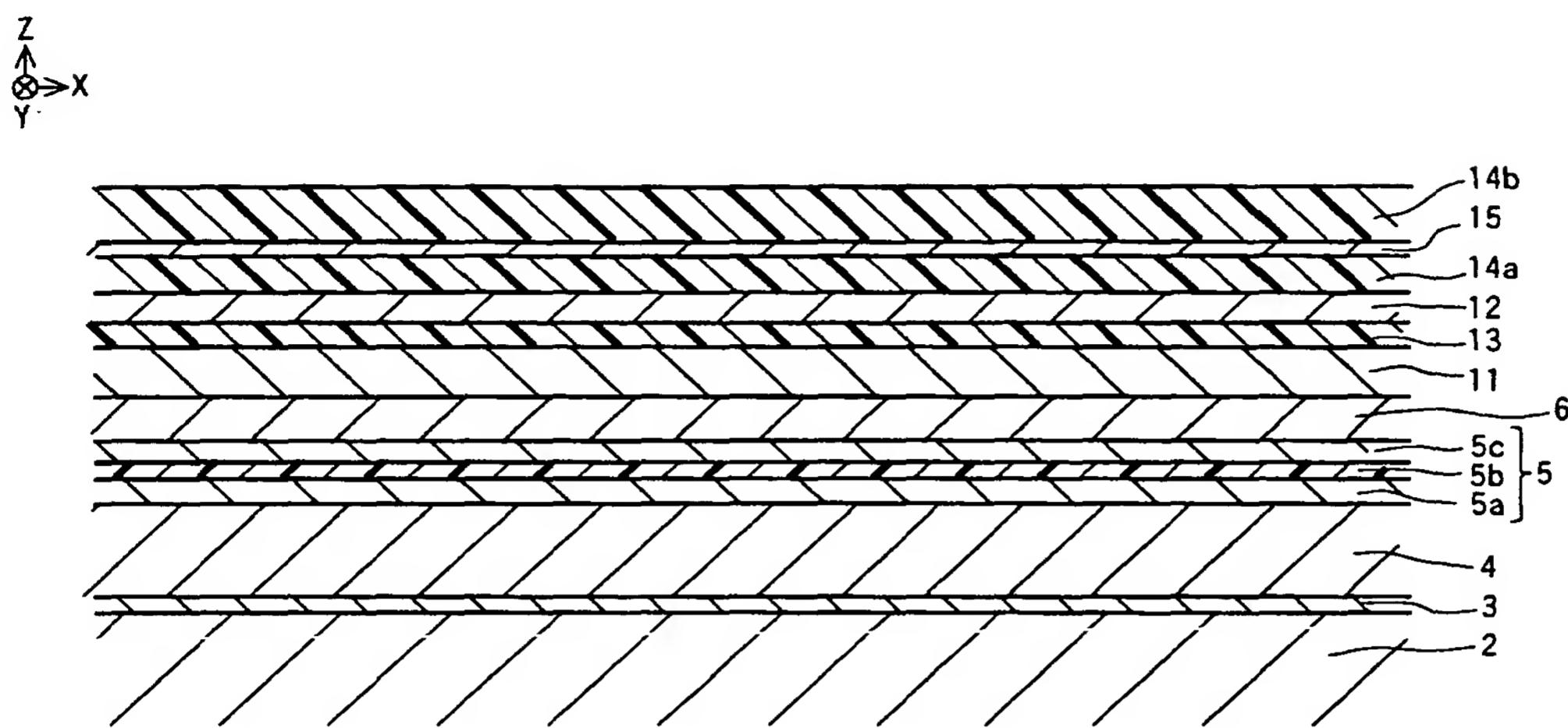
【図10】



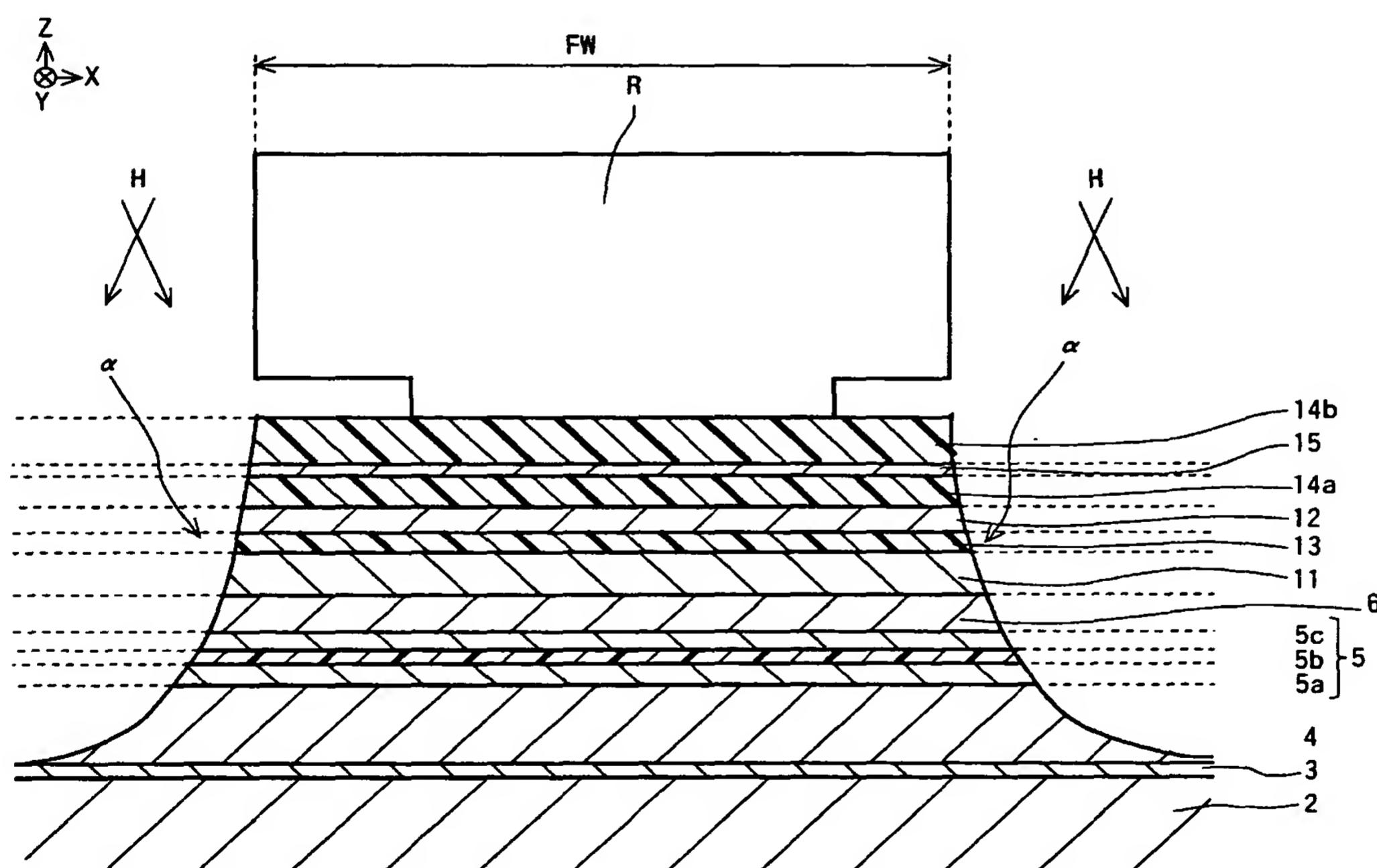
【図11】



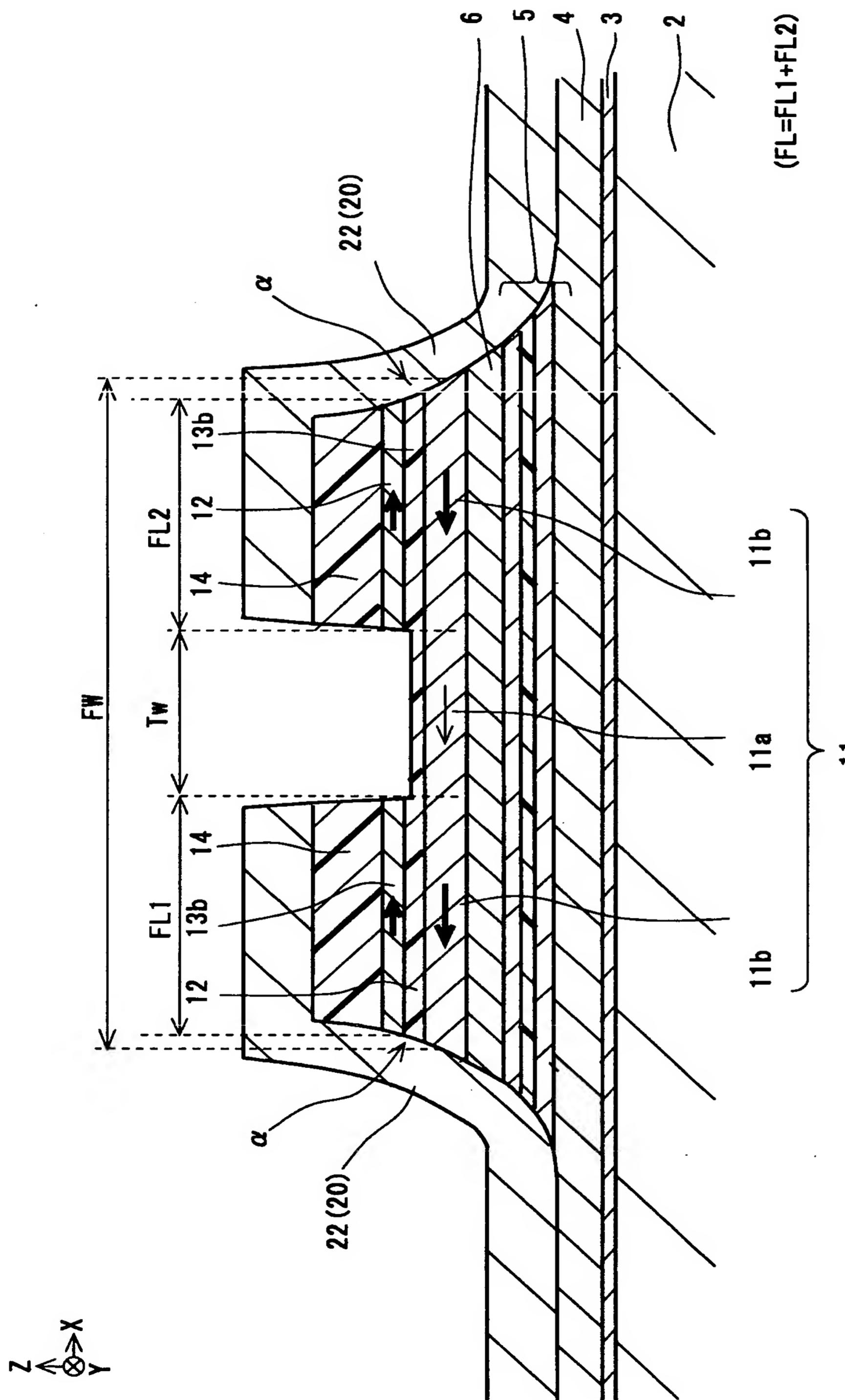
【図12】



【図13】



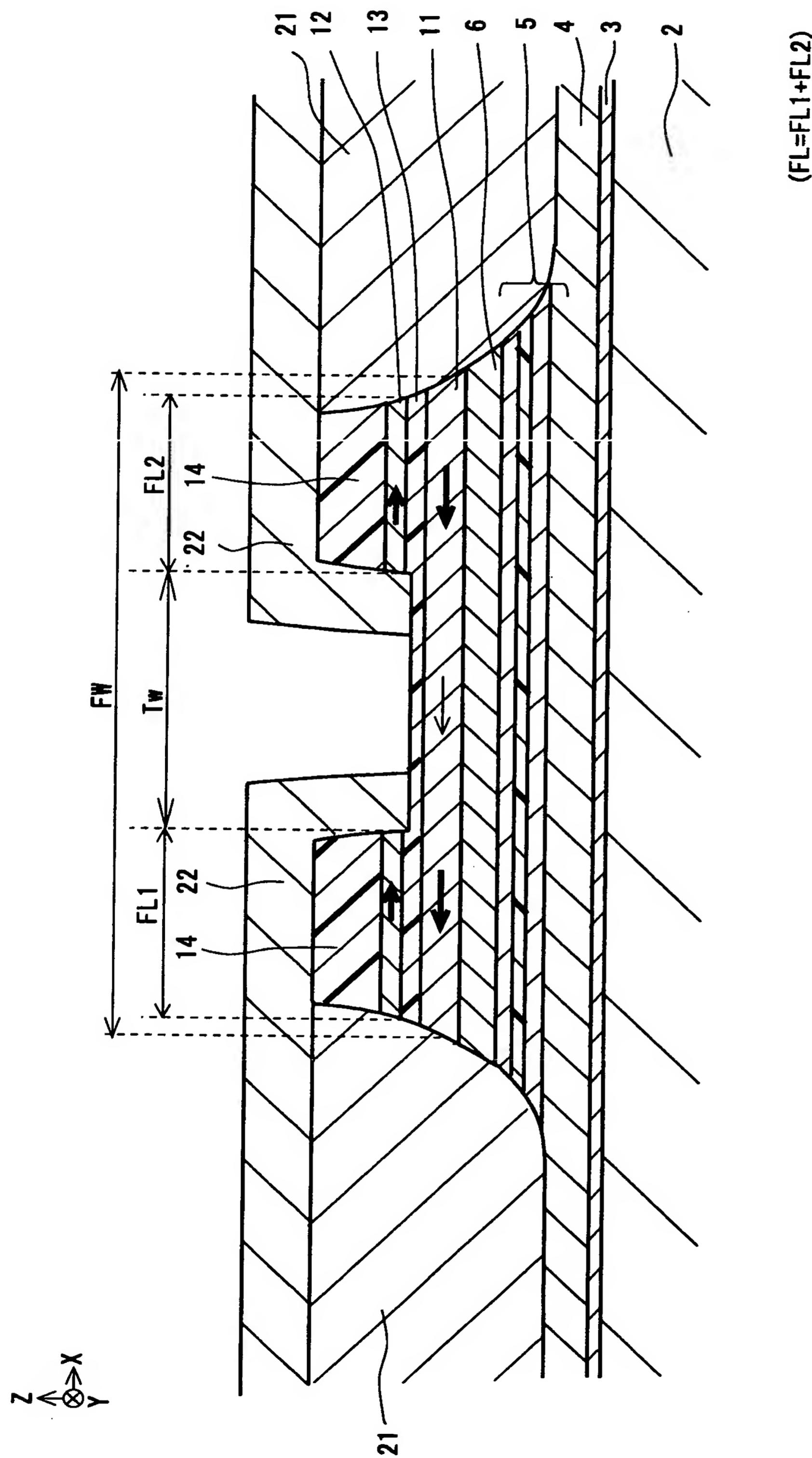
【図14】



特2002-238319



【図15】



(FL=FL1+FL2)

【書類名】要約書

【要約】

【目的】 狹トラック化が進められても出力感度を良好に確保できる巨大磁気抵抗効果素子及びその製造方法を得る。また、素子抵抗を低減可能な巨大磁気抵抗効果素子及びその製造方法を得る。

【構成】 第1反強磁性層4；この第1反強磁性層4によって磁化固定された固定磁性層5；非磁性材料層6；外部磁界に応じて中央部11aの磁化方向が変化するフリー磁性層11；非磁性層13；非磁性層13の両側端部13b上に形成された強磁性層12；強磁性層12の磁化方向を固定磁性層5の磁化方向と直交する方向に固定する第2反強磁性層14を備えたGMR素子1において、非磁性層13を介してフリー磁性層11と強磁性層12の磁化方向を反平行とし、少なくともフリー磁性層11、非磁性層13及び強磁性層12のトラック幅方向の両側端面を連続面 $\alpha$ とする。さらに、上記連続面 $\alpha$ に接して第1電極層21を設け、この第1電極層21及び第2反強磁性層14上に第2電極層22を設ける。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-238319
受付番号	50201222560
書類名	特許願
担当官	笹川 友子 9482
作成日	平成14年 8月20日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年 8月19日

次頁無

出願人履歴情報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号

氏 名 アルプス電気株式会社